

# 核技术利用建设项目

## 象山县第一人民医院医疗健康集团 直线加速器建设项目（扩建） 环境影响报告表

象山县第一人民医院医疗健康集团

2022 年 02 月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

## 象山县第一人民医院医疗健康集团 直线加速器建设项目（扩建） 环境影响报告表

建设单位名称：象山县第一人民医院医疗健康集团

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省象山县丹东街道东谷路 291 号

邮政编码：315700

联系人：陈\*\*

电子邮箱：\*\*\*\*

联系电话：135\*\*\*\*\*

# 目 录

表 1 项目基本情况 .....	1
表 2 放射源 .....	8
表 4 射线装置 .....	9
表 6 评价依据 .....	11
表 7 保护目标与评价标准 .....	13
表 8 环境质量和辐射现状 .....	20
表 9 项目工程分析与源项 .....	23
表 10 辐射安全与防护 .....	32
表 11 环境影响分析 .....	41
表 12 辐射安全管理 .....	59
表 13 结论与建议 .....	69
表 14 审批 .....	73

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		象山县第一人民医院医疗健康集团直线加速器建设项目（扩建）			
建设单位		象山县第一人民医院医疗健康集团			
法人代表	谢**	联系人	陈**	联系电话	135*****
注册地址		浙江省象山县丹东街道东谷路 291 号			
项目建设地点		浙江省象山县丹东街道东谷路 291 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	8300	项目环保投资（万元）	200	投资比例（环保投资/总投资）	2.4%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积(m <sup>2</sup> )	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
<b>1.1 项目概况</b>					
<b>1.1.1 建设单位简介</b>					
<p>象山县第一人民医院医疗健康集团始建于 1938 年，位于浙江省象山县丹东街道东谷路 291 号，为目前象山县规模最大，集医、教、研为一体的三级乙等综合性医院，又是该县的医疗中心和急救中心。象山县第一人民医院医疗健康集团下设总院（位于象山县丹东街道东谷路 291 号）、老年医院院区（位于象山县丹东街道嘉宁路 101 号）、黄避岙分院（位于黄避岙乡龙屿村平桥路 142 号）、大徐分院（位于大徐镇东昭路 63-1 号）、定塘分院（位于定塘路浮礁路 101 号）、新桥分院（位于新桥镇宁丰路 41 号）。</p> <p>该院最近于 2021 年 4 月 16 日取得辐射安全许可证，证书编号“浙环辐证[B0043]”；许可种类和范围为使用 II 类、III 类射线装置，有效期至 2026 年 4 月 15 日。医院目前配备有 2 台 DSA、5 台医用 CT 机、26 台医用 X 光机。</p>					
<b>1.1.2 项目建设目的和任务由来</b>					

随着医院医疗体制深入改革，现业务用房不能满足实际业务需要；为了提升医疗技术水平，强化医疗卫生服务能力，形成合理的分级诊疗模式，缓解县级医院“看病难、住院难”问题，经象山县发展和改革委员会批复同意《关于象山县第一人民医院感染楼扩建工程（公共卫生临床中心）初步设计的批复》，文件号：象发改审批[2020]451号，医院拟在总院西北角区块实施感染楼扩建工程项目，总用地面积 1548.06 平方米，总建筑面积 13155.35 平方米，其中地上建筑面积 9388.12 平方米，地下面积 3767.23 平方米。主要建设内容包括新建感染楼 1 幢及配套综合管线、停车位、围墙及其他配套附属工程。该项目非辐射类环境影响评价工作已委托宁波市寰宇工程咨询有限公司进行，并取得了宁波市生态环境局的环评批复（浙象环许【2020】59号）。

拟建感染楼为一幢地下 1 层（局部地下 2 层）、地上 6 层的单体建筑，局部地下 2 层拟建设为放疗中心，建设 1 间直线加速器机房及配套用房。对照《射线装置分类》（环境保护部 国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号），直线加速器属于粒子能量小于 100 兆电子伏的医用加速器的分类范围，为 II 类射线装置。为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境保护管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，医院应办理核技术利用项目环境影响评价手续。

按照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目——使用 II 类射线装置”，环境影响评价文件形式应为环境影响报告表。

为此，象山县第一人民医院医疗健康集团委托对“象山县第一人民医院医疗健康集团直线加速器建设项目（扩建）（简称‘本项目’）”开展环境影响评价工作（委托书见附件 1）。评价单位接受委托后对项目现场进行了勘察，实地调查了项目所在地的环境情况，在收集项目相关资料、分析后，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关要求，编制完成了《象山县第一人民医院医疗健康集团直线加速器建设项目（扩建）环境影响报告表》。

### 1.1.3 建设内容及规模

医院拟在感染楼地下 2 层放疗中心新建 1 间加速器机房及控制室等配套用房，机房内新增 1 台 15MV 医用电子直线加速器。本项目新增的直线加速器最大能量、剂量率及工作场所等详细内容见表 4 射线装置（一）加速器。本项目直线加速器的使用配套 1 台模拟定位 CT，型号暂时未定，最大管电压为 150kV，最大管电流为 1000mA，属于 III 类射线装置，将进行建设项目环境影响登记表备案工作。此外，根据“浙象环许【2020】59号”文件内容，医院计划在拟建感染楼一层建设 1 间 CT 机房和 1 间 DR 机房及配套

用房，将进行建设项目环境影响登记表备案工作。

本项目直线加速器建设内容及规模一览表见表 1-1。

**表 1-1 直线加速器建设内容及规模一览表**

所在建筑	机房名称	辐射源项	数量
拟建的感染楼地下 2 层	加速器机房	新增 1 台医用电子直线加速器（普通模式 X 射线最高能量：15MV，普通模式 X 射线最高剂量率 10Gy/min。FFF 模式 X 射线最高能量：6MV，FFF 模式 X 射线最高剂量率：24Gy/min。电子线最高能量：21MeV，电子线最高剂量率 10Gy/min，主射束朝向东、西、顶棚与地面，属于 II 类射线装置）	1 台

## 1.2 项目选址与环境保护目标

### 1.2.1 医院地理位置

医院总院院区位于浙江省宁波市象山县丹东街道东谷路 291 号，医院东侧是兴盛路，隔路是学府名苑-北区；南侧为象山港路；西侧为东谷路，隔路为丹静公寓；北侧为丹峰东路。医院地理位置图见附图 1。

### 1.2.2 项目周边环境关系

本项目加速器机房位于总院西北侧拟建感染楼的地下 2 层，其东侧隔 90m 为医院办公楼，南侧隔 10m 为已建的感染楼，西侧 30m 范围内为医院内部过道，之后是东谷路，距离居民区和商铺最近距离约 55m，北侧 35m 范围内为医院内部过道，之后是丹峰东路，距离居民区和商铺最近距离约 50m。本项目周边环境关系示意图详见附图 2。

本项目加速器机房实体边界外 50m 评价范围主要为医院内部道路、医院内部建筑、绿化带。本项目环境保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的其他工作人员和公众人员。

### 1.2.3 选址合理性分析

本项目拟建地址位于医院现有院区内，用地性质为医疗卫生用地，项目选址符合宁波市主体功能区划及土地利用规划。本项目加速器机房实体边界外 50m 范围内主要为内部道路、医院内部建筑、绿化带，本项目不在生态保护红线范围内，且项目选址周边均无自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、饮用水水源保护区以及基本农田保护区、基本草原、森林公园、地质公园、重要湿地等敏感点存在。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的防护治理措施后不会对周围环境与公众造成危害，故本项目的选址是合理的。

### 1.2.4 “三线一单”符合性分析

### **(1) 与“生态保护红线”的符合性分析**

根据《宁波市“三线一单”生态环境分区管控方案》，项目所在地位于宁波市象山县丹东街道生活重点管控单元（ZH33022520002），不在宁波市生态红线保护区内，因此，本项目符合生态保护红线的要求。

### **(2) 与“环境质量底线”的符合性分析**

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场址周围环境 X- $\gamma$  辐射剂量属于正常本底范围。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，因此本项目符合环境质量底线要求。

### **(3) 与“资源利用上线”的符合性分析**

本项目施工过程中用到水资源，用水量不会超出用水总量目标，符合水资源利用上线。本项目运营过程中主要消耗一定量的电能，消耗量相对区域资源利用总量较少，且项目不使用高耗能、低效率的设备，符合资源利用上线的要求。

### **(4) 与环境准入清单的符合性分析**

本项目不属于生产型项目，不属于《浙江省工业污染项目（产品、工艺）禁止和限制发展目录（第一批）》中规定的禁止类和限制类项目，本项目满足环境准入清单要求。

综上所述，本项目不涉及生态保护红线、符合环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单的要求，本项目的建设符合《宁波市“三线一单”生态环境分区管控方案》的要求。

## **1.3 产业政策符合性和实践正当性分析**

### **1.3.1 产业政策符合性**

本项目属于核技术在医学领域内的应用。本项目直线加速器扩建项目符合《产业结构调整指导目录》（2019 年本）第一类鼓励类第六项核能中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

### **1.3.2 实践正当性结论**

本项目的目的在于开展放射诊疗工作、治病救人，实践过程中采取了可能的辐射防护措施，在患者得到诊疗预期效果的同时，对周围环境、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于“实践正当性”的要求。

## **1.4 劳动定员及工作制度**

### **1.4.1 劳动定员**

本项目拟配备辐射工作人员 6 名，其中物理计划师 2 名，医生 2 名和技师 2 名，均

为新聘人员，均不存在操作其他射线装置。本项目拟配置的辐射工作人员拟在上岗前进行辐射安全与防护培训或放射诊疗培训，并培训合格后上岗。

#### **1.4.2 工作制度**

本项目辐射工作人员每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

#### **1.5 原有核技术利用项目情况**

##### **1.5.1 医院原有项目许可情况**

医院已取得《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐证[B0043]（见附件 3）；发证日期：2021 年 08 月 11 日，有效期至 2026 年 08 月 10 日；许可种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置。

##### **1.5.2 原有核技术利用项目管理情况**

（1）医院已成立了辐射安全管理委员会，制定了一系列的辐射工作管理制度，其中包括《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等。

医院原有管理制度内容较为全面，符合相关要求，但不涉及放射治疗的相关内容，本项目投入使用前，医院应完善相关的辐射管理制度并严格落实。

（2）医院已组织现有辐射工作人员进行放射防护知识培训并考核合格。

（3）辐射工作期间，要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，建立个人剂量档案并终生存档保存，个人剂量计每三个月送检一次。医院开展了 2021 年度辐射工作人员剂量监测。由结果可以看出，医院现有辐射工作人员个人剂量监测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值。

（4）医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警示牌和工作状态指示灯等。根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

（5）医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展核技术利用项目的辐射安全防护要求。

（6）医院已制定《辐射事故应急预案》，医院每年均定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。经与医院核实，自核技术利用项目开展以来，未发生过辐射事故。

医院每年编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》，对现有射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况、监测仪器情况等进行了年度总结和评估，并及时提交至发证机关。

表 1-2 医院现有射线装置一览表

序号	装置名称	型号	管电压/ 管电流	使用场所	类别	环评情况	验收情况
1	X 射线数字 胃肠机	Flexavision	150kV/500 mA	总院：放射三号间	III类	甬环发函 [2010]32 号	甬环辐验 【2016】 17 号
2	DR	DigiEye 280T	150kV/640 mA	总院：放射四号间	III类		
3	X 线拍片机	RAD Speed M	150kV/500 mA	总院：放射五号间	III类		
4	螺旋 CT 机	BrillianceCT 16	120kV/500 mA	总院：放射七号间	III类		
5	血管造影 X 线 机 (DSA)	Integris Allura	125kV/1250 mA	总院：放射八号间	II类		
6	骨密度仪	DPX Bravo	76kV/1.5mA	总院：放射 骨密度室	III类		
7	数字 X 射线摄 影系统	RAD SPEED M	150kV/500 mA	总院：体检中心 放射室	III类		
8	C 形臂 X 光机	GE OEC	110kV/20m A	总院：手术室	III类		
9	口腔 X 射线机	CS2100	60kV/7mA	总院：口腔科 X 光 摄片室	III类		
10	移动 DR 机	MobiEye 700T	150kV/500 mA	总院：放射科	III类		
11	移动 DR 机	MUX-100D J	125kV/125 mA	总院：放射科	III类		
12	血管造影 X 线 机 (DSA)	UNIQ FD20	125kV/1000 mA	总院：放射科 十二号间	II类	甬环建表 [2021]1 号	2021 年 7 月完成自 主验收
13	X 射线计算机 体层摄影设备 (CT 机)	Optima CT540	140kV/440 mA	总院：十五号间	III类	备案号： 202033022500000192	
14	螺旋 CT 机	SOMATOM Scope	140kV/420 mA	总院：发热门诊 CT 室	III类	备案号： 202133022500000028	
15	螺旋 CT 机	uCT530	130kV/345 mA	总院：放射六号间	III类		
16	C 形臂 X 光机	BV Endura	110kV/7.2m A	总院：ERCP 室	III类	备案号： 201733022500000402	
17	螺旋 CT 机	SOMATOM Definition AS	140kV/1332 mA	总院：放射十号间	III类	备案号： 201733022500000367	

18	DR	DigiEye 280	150kV/640 mA	总院：发热门诊 DR 室	III类		
19	全景、头颅和 X 射线数字化体层摄影设备	NewTom Giano	85kV/10mA	总院：放射二号间	III类		
20	体外冲击波碎石机	ZH-VC	110kV/5mA	总院：碎石机房	III类		
21	钼靶机	Selenia Dimensions	39kV/500mA	总院：放射一号间	III类	备案号：201933022500000045	
22	移动式 C 形臂 X 射线系统（C 臂机）	BV Endura	110kV/7.2mA	总院：手术室	III类	备案号：202133022500000084	
23	口腔 X 射线机	KODAK800 0C	90kV/15mA	老年医院院区	III类	浙象环许 [2015]305 号	象环发 [2016]66 号
24	DR	NOVA FA	150kV/500 mA	老年医院院区	III类		
25	骨密度仪	Discovery wi	140kV/3mA	老年医院院区	III类		
26	DR 机	Lite DR	150kV/630 mA	大徐分院	III类	备案号：201933022500000071	
27	数字化医用 X 射线摄影系统	DigiEye 280T	150kV/640 mA	丹城分院	III类	备案号：202033022500000254	
28	数字化医用 X 射线摄影系统	DR-F	150kV/630 mA	丹城分院	III类	未提供	象环发 [2016]51 号
29	DR 机	Lite DR	150kV/630 mA	定塘分院	III类	未提供	象环发 [2016]47 号
30	DR 机	Lite DR	150kV/630 mA	黄避岙分院	III类	备案号：201933022500000246	
31	DR 机	Lite DR	150kV/630 mA	涂茨分院	III类	备案号：201933022500000311	
32	医用 X 射线摄影系统	新东方 1000MC	150kV/630 mA	贤痒分院	III类	未提供	象环发 [2016]48 号
33	DR 机	Lite DR	150kV/630 mA	新桥分院	III类	备案号：201933022500000063	

注：丹城分院、定塘分院和贤痒分院环评批文未能提供，但有验收批文。

**表 2 放射源**

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

**表 3 非密封放射性物质**

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

**表 4 射线装置**

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II	1台	暂未定	电子	X射线普通治疗模式：≤15MV， X射线FFF治疗模式：≤6MV， 电子线≤21MeV	普通治疗模式≤600， FFF治疗模式≤1440， 电子线≤600	放射治疗	总院放疗中心 加速器机房	扩建， 本次 环评
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	模拟定位 CT	III	1台	暂未定	150	1000	定位	总院放疗中心模 拟定位 CT 机房	本次环评的配套 设备，另行备案
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
直线加速器 废靶件	固态	/	/	/	/	/	拆卸后先放进屏蔽容器， 暂存在加速器机房内	如有废靶产生，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021），应对废靶外表面进行辐射剂量率监测，由有资质的单位进行收贮
非放气态废弃物	气态	臭氧(O <sub>3</sub> )、 氮氧化物	/	极少量	极少量	/	/	经排风系统排出室外，臭氧 22~25 分钟分解一半，常温 下可自行分解为氧气，对环境 影响较小
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m<sup>3</sup>，年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1)《中华人民共和国环境保护法》(修订版),国家主席令第 9 号,2015 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(2)《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年修正版),国家主席令第 24 号,自 2018 年 12 月 29 日起施行;</p> <p>(3)《中华人民共和国放射性污染防治法》,中华人民共和国主席令第 81 号,2017 年 11 月 5 日第三次修正并施行;</p> <p>(4)《建设项目环境保护管理条例》(2017 年修订版),国务院令第 682 号,2017 年 10 月 1 日起施行;</p> <p>(5)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2019 年修正版),国务院令第 709 号,2019 年 3 月 2 日起施行;</p> <p>(6)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年修正版),生态环境部令第 20 号,自 2021 年 1 月 4 日起施行;</p> <p>(7)《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021 年版),生态环境部令第 16 号,2021 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(8)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》,环境保护部令第 18 号,2011 年 5 月 1 日起施行;</p> <p>(9)《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》,国家环境保护总局文件,环发[2006]145 号文;</p> <p>(10)《射线装置分类》(2017 年修订版),环境保护部 国家卫生计生委公告 2017 年公告第 66 号公布,自 2017 年 12 月 5 日起施行;</p> <p>(11)关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南(试行)》的通知,环办[2013]103 号,2014 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(12)《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》,生态环境部部令第 9 号,2019 年 11 月 1 日起施行;</p> <p>(13)《关于发布&lt;建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法&gt;配套文件的公告》,生态环境部公告 2019 年第 38 号,2019 年 11 月 1 日起施行;</p> <p>(14)《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》,生态环境部公告 2019 年第 39 号,2019 年 10 月 25 日生成;</p> <p>(15)《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》,生态环境部公告 2019 年第 57 号,2020 年 1 月 1 日起施行;</p>
------	--

	<p>(16)《浙江省建设项目环境保护管理办法(2021年修正)》(浙江省人民政府令第388号),2021年2月1日起施行;</p> <p>(17)《浙江省辐射环境管理办法(2021年修正)》(浙江省人民政府令第388号),2021年2月1日起施行;</p> <p>(18)《浙江省环境保护厅关于发布&lt;省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2015年本)&gt;及&lt;设区市环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单(2015年本)&gt;的通知》(浙环发[2015]38号);</p> <p>(19)《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》(浙江省生态环境厅 浙江省卫生健康委员会,浙环函【2019】248号);</p> <p>(20)《省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2019年本)》(浙江省生态环境厅,浙环发[2019]22号)。</p>
技术标准	<p>(1)《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016);</p> <p>(2)《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016);</p> <p>(3)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002);</p> <p>(4)《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021);</p> <p>(5)《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020);</p> <p>(6)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部份:一般原则》(GBZ/T 201.1-2007);</p> <p>(7)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分:电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011);</p> <p>(8)《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021);</p> <p>(9)《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021);</p> <p>(10)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)。</p>
其他	<p>(1)项目委托书(附件1)</p> <p>(2)射线装置使用承诺书(附件2)</p> <p>(3)《事业单位法人证书》(附件3)</p> <p>(4)《辐射安全许可证》(附件4)</p> <p>(6)建设单位提供的其它资料</p>

## 表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)的要求,放射源和射线装置应用项目的评价范围通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围。故本项目评价范围以加速器治疗室的屏蔽墙为边界,外延 50m 的区域。本项目评价范围见附图 2。本项目为使用 II 类射线装置,

### 7.2 保护目标

本项目环境保护目标为本项目辐射工作人员、周围其他非辐射工作人员和公众成员。具体详见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

方位	敏感点位置描述	环境保护目标	规模	最近距离	人员类别	年剂量管理约束值
东侧	过道	公众	10 人	相邻	公众	0.1mSv
南侧	实土层	无	/	相邻	无	无
西侧	实土层	无	/	相邻	无	无
北侧	控制室	辐射工作人员	6 人	相邻	职业	5mSv
上方	绿化带	公众	约 50 人	相邻	公众	0.1mSv
下方	实土层	无	/	相邻	无	无
四周	医院内其他工作人员与公众	非辐射工作人员与公众	约 50 人	50m 范围内	公众	0.1mSv

### 7.3 评价标准

#### 7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)

##### ①剂量限值

本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值,见表 7-2:

表 7-2 照射剂量限值

	剂量限值
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值: ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均), 20mSv; ②任何一年中的有效剂量, 50mSv。
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值: ①年有效剂量, 1mSv; ②特殊情况下, 如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv, 则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

11.4.3.2 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。

### 7.3.2 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

- a) 一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5 mSv/a。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

#### 5.1 选址与布局

5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

5.1.3 术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内。

#### 5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运管道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

### 6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

#### 6.1 屏蔽要求

6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ：

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录 A 选取），由以下周剂量参考控制水平（ $\dot{H}_c$ ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）：

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

机房外非控制区的人员： $\dot{H}_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

2) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\max}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）：

人员居留因子  $T > 1/2$  的场所： $\dot{H}_{c,\max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

人员居留因子  $T \leq 1/2$  的场所： $\dot{H}_{c,\max} \leq 10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量  $250\mu\text{Sv}$  加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按  $100\mu\text{Sv}/\text{h}$  加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

### 7.3.3 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部份：一般原则》（GBZ/T 201.1—2007）

#### 4.2 治疗机房布局要求

4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机房分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。

4.2.2 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域。

### 7.3.4 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2—2011）

#### 4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

a)使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附录 A，由以下周剂量参考控制水平 ( $H_c$ ) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ):

1) 放射治疗机房外控制区的工作人员:  $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$ ;

2) 放射治疗机房外非控制区的人员:  $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

b)按照关注点人员居留因子的下列不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,max}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ):

1) 人员居留因子  $T \geq 1/2$  的场所:  $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ;

2) 人员居留因子  $T < 1/2$  的场所:  $\dot{H}_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

c) 由上述 a)中的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$ 和 b)中的最高剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )。

#### 4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述a)、b)两种情况控制:

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面30cm处和(或)在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量参考控制水平  $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率  $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，按照4.2.1求得关注点的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )加以控制。

b) 除4.2.2中a)的条件外，应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和，应按4.2.2中的a)确定关注点的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )加以控制;

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量250 $\mu\text{Sv}$ 加以控制;

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，考虑上述1)和2)之后，机房顶外表面30cm处的剂量率参考控制水平可按100 $\mu\text{Sv/h}$ 加以控制(可在相应处设置辐射告示牌)。

### 7.3.5 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)

#### 6 工作场所放射防护要求

##### 6.1 布局要求

6.1.1放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端;放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6X射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； $\gamma$ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

## 6.2空间、通风要求

6.2.1放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4次/h。

## 6.3屏蔽要求

6.3.1治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

6.3.1.1治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外30 cm处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述a)、b)和c)所确定的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ：

a)使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平，见式(1)：

$$\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \quad (1)$$

$\dot{H}_c$ ——周围剂量当量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时 ( $\mu\text{Sv/h}$ )；

$H_e$ ——周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周 ( $\mu\text{Sv/周}$ )，其值按如下方式取值：  
放射治疗机房外控制区的工作人员： $\leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的人员： $\leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

t——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周 (h/周)；

U——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T——人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见附录A。

b) 按照关注点人员居留因子的不同, 分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平 $H_{c,max}$ 。

1) 人员居留因子  $T > 1/2$  的场所:  $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ;

2) 人员居留因子  $T \leq 1/2$  的场所:  $H_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

c) 由上述 a) 中的导出周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 和 b) 中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $H_{c,max}$ , 选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平。

### 6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时, 距治疗机房顶外表面 30cm 处, 或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处, 周围剂量当量率参考控制水平同 6.3.1。

6.3.2.2 除 6.3.2.1 的条件外, 若存在天空反射和侧散射, 并对治疗机房墙外关注点位置照射时, 该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和, 按 6.3.1 确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

## 6.4 安全装置和警示标志要求

### 6.4.2 联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施, 治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置, 防护门应有防挤压功能。

### 6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志:

a) 放射治疗工作场所的入口处, 设有电离辐射警告标志;

b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置, 设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

### 6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关, 除移动加速器机房外, 放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

### 6.4.6 视频监控、对讲交流系统

控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置; 还应设置对讲交流系统, 以便操作者和患者之间进行双向交流。

## 7 放射治疗操作中的放射防护要求

7.3 操作人员应遵守各项操作规程, 认真检查安全联锁, 应保障安全联锁正常运。

7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。

### 7.3.6 工作场所中臭氧、氮氧化物浓度限值

根据《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）：工作场所空气中臭氧的最高容许浓度为  $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 、氮氧化物的时间加权平均容许浓度为  $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

### 7.3.7 辐射工作人员个人剂量监测

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）：

4.3.1 常规监测的周期应综合考虑放射工作人员的工作性质、所受剂量的大小、剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素。常规监测周期一般为 1 个月，最长不得超过 3 个月。

5.2.3 对于强贯穿辐射和弱贯穿辐射的混合辐射场，弱贯穿辐射的剂量贡献 $\leq 10\%$ 时，一般可只监测  $\text{Hp}(10)$ ；弱贯穿辐射的剂量贡献 $> 10\%$ 时，宜使用能识别两者的鉴别式个人剂量计，或用躯体剂量计和局部剂量计分别测量  $\text{Hp}(10)$  和  $\text{Hp}(0.07)$ 。

5.3.1 对于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置；当辐射主要来自人体背面时，剂量计应佩戴在背部中间。

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理和场所位置

象山县第一人民医院医疗健康集团总部位于浙江省宁波市象山县丹东街道东谷路 291 号，医院东侧是兴盛路，隔路是学府名苑-北区；南侧为象山港路；西侧为东谷路，隔路为丹静公寓；北侧为丹峰东路。医院地理位置图见附图 1。

本项目加速器机房位于总院西北侧拟建感染楼的地下 2 层，其东侧隔 90m 为医院办公楼，南侧隔 10m 为已建的感染楼，西侧 30m 范围内为医院内部过道，之后是东谷路，距离居民区和商铺最近距离约 55m，北侧 35m 范围内为医院内部过道，之后是丹峰东路，距离居民区和商铺最近距离约 50m。本项目周边环境关系示意图详见附图 2。

### 8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

#### 8.2.1 环境现状评价对象

辐射工作场所周围环境辐射水平。

#### 8.2.2 监测因子

$\gamma$  射线剂量率、中子剂量率。

#### 8.2.3 监测点位

根据《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021) 有关布点原则进行布点，共计布点 5 个，重点调查本项目加速器机房及周围环境辐射水平，具体点位见图 8-1。

### 8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

#### 8.3.1 监测方案

- (1) 监测单位：湖州环安检测有限公司（CMA 资质认定证书编号：191112052502）
- (2) 监测报告编号：HAJC22-01-0014
- (3) 监测时间：2022 年 01 月 10 日
- (4) 监测方式：现场检测
- (5) 监测天气：晴
- (6) 监测设备

表 8-1 监测设备

检测仪器	环境监测 X、 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率仪	中子周围剂量当量率仪
仪器型号	RM-2030	JC-XYZ500
仪器编号	2019016	2018012
生产厂家	上海超奇电子有限公司	上海见驰辐射检测设备有限公司
量程	0.01 $\mu$ Sv/h~200 $\mu$ Sv/h、0.1 $\mu$ Sv~500.0mSv	$\geq 1$ nSv/h

能量范围	35keV~3MeV	≤14MeV
检定证书编号	2021H21-10-3678113001	DLjs2021-10263
检定证书有效期	2021年12月2日至2022年12月1日	2021年3月1日至2022年2月28日
检定单位	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心	中国计量科学研究院

### 8.3.2 质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性；
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁发的标准，监测人员经考核并持合格证书上岗；
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；
- (4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；
- (5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

### 8.3.3 监测结果

本项目加速器机房拟建址的辐射水平检测结果见表 8-2 和表 8-3，检测点位见图 8-1，详细检测结果见附件 5。

**表 8-2 加速器机房拟建址及周围辐射环境  $\gamma$  射线剂量率监测结果**

检测点编号	检测点位置	检测结果 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	
		平均值	标准差
1#	加速器机房拟建址	0.12	0.01
2#	加速器机房拟建址东侧	0.11	0.01
3#	加速器机房拟建址南侧	0.12	0.01
4#	加速器机房拟建址西侧	0.12	0.01
5#	加速器机房拟建址北侧	0.10	0.01

注：1、上表数据未扣除检测仪器宇宙射线响应值。

- 2、本次检测设备测量读数的空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG393，使用  $^{137}\text{Cs}$  作为检定/校准参考辐射源时换算系数取 1.20Sv/Gy。

**表 8-3 加速器机房拟建址及周围辐射环境中子射线剂量率监测结果**

监测点号	监测点位置	监测结果 ( $\mu\text{Gy/h}$ )
1#	加速器机房拟建址	未检出
2#	加速器机房拟建址东侧	未检出
3#	加速器机房拟建址南侧	未检出
4#	加速器机房拟建址西侧	未检出
5#	加速器机房拟建址北侧	未检出

## 8.4 辐射环境现状评价

由监测结果可知，医院加速器机房拟建址的  $\gamma$  辐射剂量率在  $0.10\mu\text{Gy/h}\sim 0.12\mu\text{Gy/h}$  范围内，根据《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，象山当地  $\gamma$  辐射剂量率为  $(4.7\sim 8.4)\times 10^{-8}\text{Gy h}^{-1}$ ，象山道路上  $\gamma$  辐射剂量率为  $(7.0\sim 10.0)\times 10^{-8}\text{Gy h}^{-1}$ ，可见项目所在地的天然贯穿辐射水平相当。中子剂量率未检出。

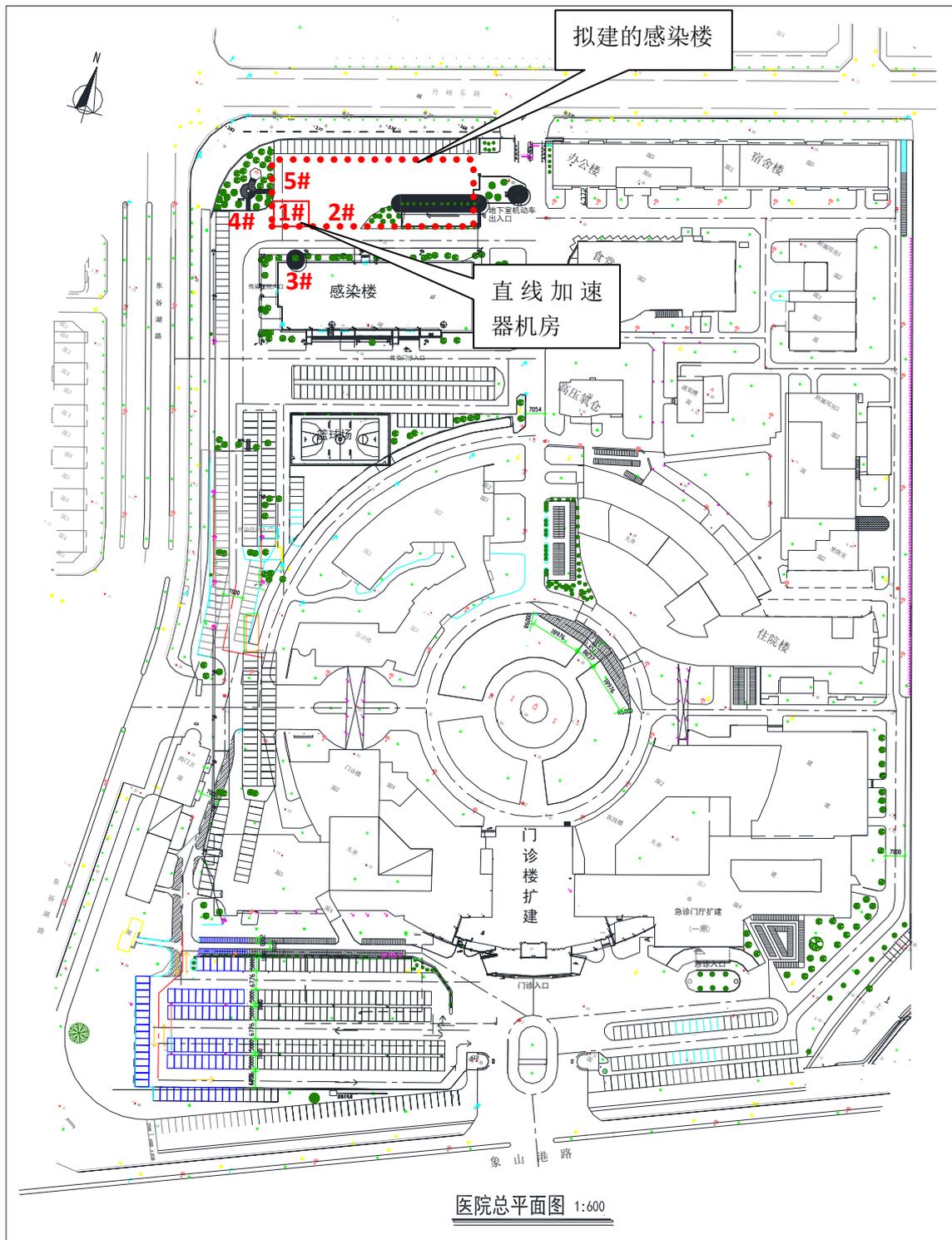


图 8-1 医院加速器机房拟建址检测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 施工期工程分析

本项目感染楼属于扩建工程，本项目施工期工艺流程及产污环节如下：

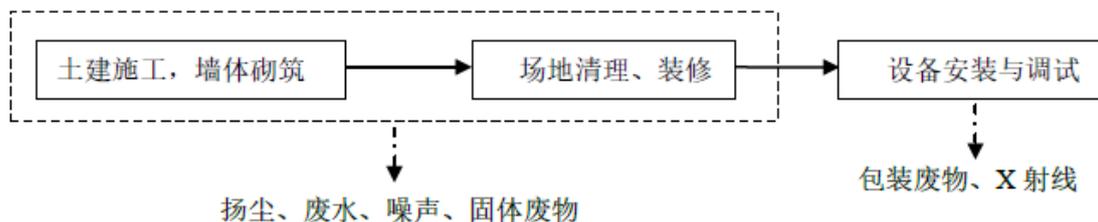


图 9-1 本项目施工期工艺流程及产污环节图

本项目施工期污染物主要包括：

#### (1) 扬尘

本项目施工期产生扬尘，建设单位应加强施工场地管理，施工采取湿法作业，尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响，现场堆积建筑垃圾应采取一定的遮盖措施，避免风力扬尘。

#### (2) 噪声

施工设备应考虑选择低噪音设备，施工过程防止机械噪声的超标。

#### (3) 废水

施工期产生的废水主要为施工人员的生活污水，生活污水产量较小，可依托建设单位化粪池等生活污水处理设施处理后纳入市政污水管网，不得随意排放。

#### (4) 固体废物

装修过程中产生的装修垃圾堆放在住建部门指定的地点，严禁随意堆放和倾倒。施工人员产生的生活垃圾可依托市政垃圾收运系统收集处理。

#### (5) X 射线

本项目调试阶段加速器会产生 X 射线，同时设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。调试阶段在已经做好辐射防护的机房内进行，张贴辐射警示标识，避免无关人员靠近，经墙体的屏蔽及距离衰减后对环境的影响可以接受的。

### 9.2 营运期工程分析

医院拟新增使用 1 台 15MV 直线加速器，型号待定。拟购加速器的技术参数如表 9-1 所示。

**表 9-1 加速器的技术参数**

设备名称	电子线最大能量	X 射线最大能量	X 射线最高输出率	源轴距 (SAD)	等中心距地面高度	线束张角	射线泄漏率
直线加速器	≤21MeV	普通治疗模式: ≤15MV, ≤6×10 <sup>8</sup> μGy/h FFF 治疗模式: ≤6MV, ≤1.44×10 <sup>9</sup> μGy/h		1.0m	1.3m	28°	≤0.1%

**9.2.1 设备组成及工作原理**

医用直线加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。设备组成主要包括机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机联锁保护电路等。

从电子枪发出的同步电子束注入已建立高梯度的驻波加速场中加速，在加速管末端，电子束加速到所需能量后经过漂移管进入270度偏转磁场。在偏转磁场中，电子束偏转270度后由水平入射变为垂直出射，并同时完成聚集和消除能谱色差形成直径2mm左右的平行束流，经过引出窗到达移动靶件处。移动靶件具有不同工位，可根据治疗需要使电子束轰击合金靶产生X辐射或直接穿透初级散射箔产生电子辐射。

现有的医用加速器一般可提供电子束流和X射线治疗模式，对于这类加速器的辐射头，需要通过机构使均整块及电子线散射器在射线中心来回切换以达到不同的治疗模式。均整块的位置精度对射线的质量影响很大，均整块的位置偏差会导致射线辐射分布产生严重畸变。加速器均整块移除 (Flattening Filter Free, FFF) 技术可提高射线的剂量率，同时减少加速器的机头散射和射野外的剂量，大大减少计划投照的时间，改善患者舒适度。

典型医用直线加速器示意图、内部结构图、治疗模式图与典型外观图分别见图9-2、图9-3、图9-4和图9-5。

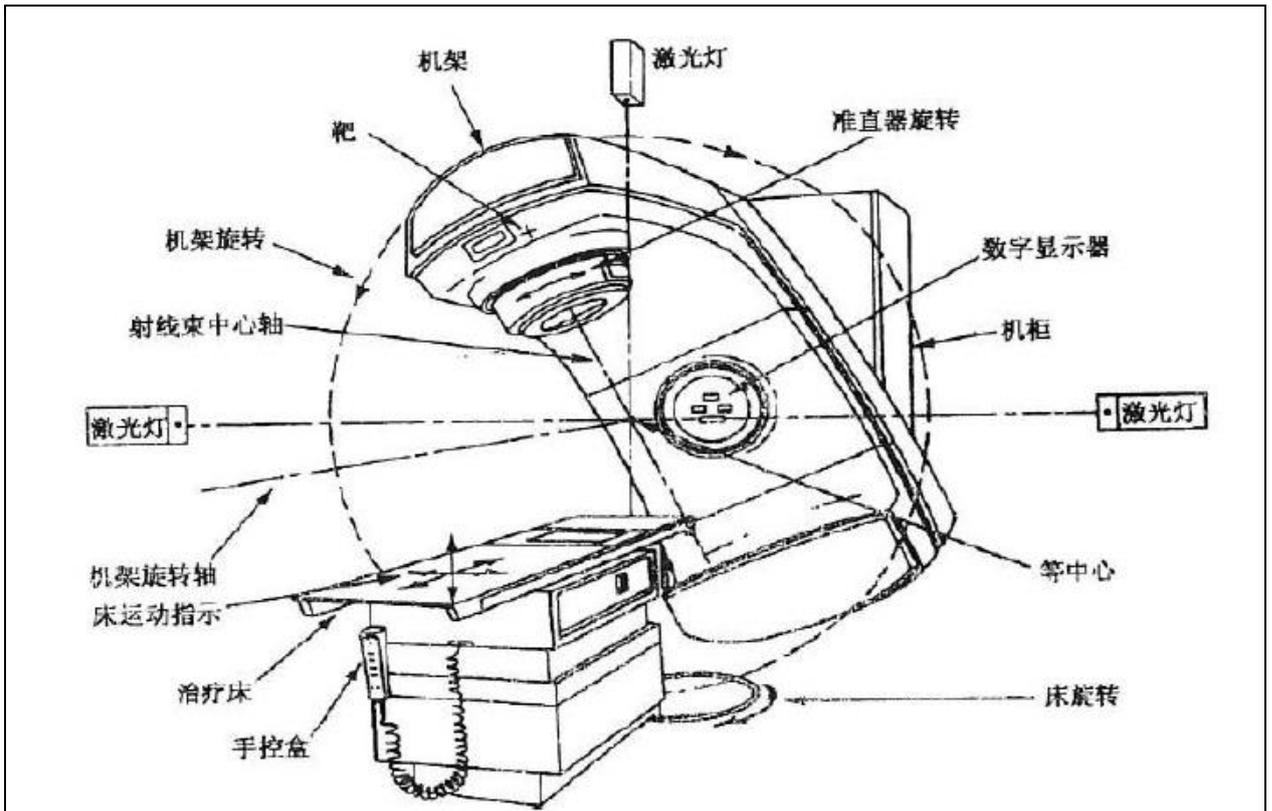


图9-2 典型医用直线加速器示意图

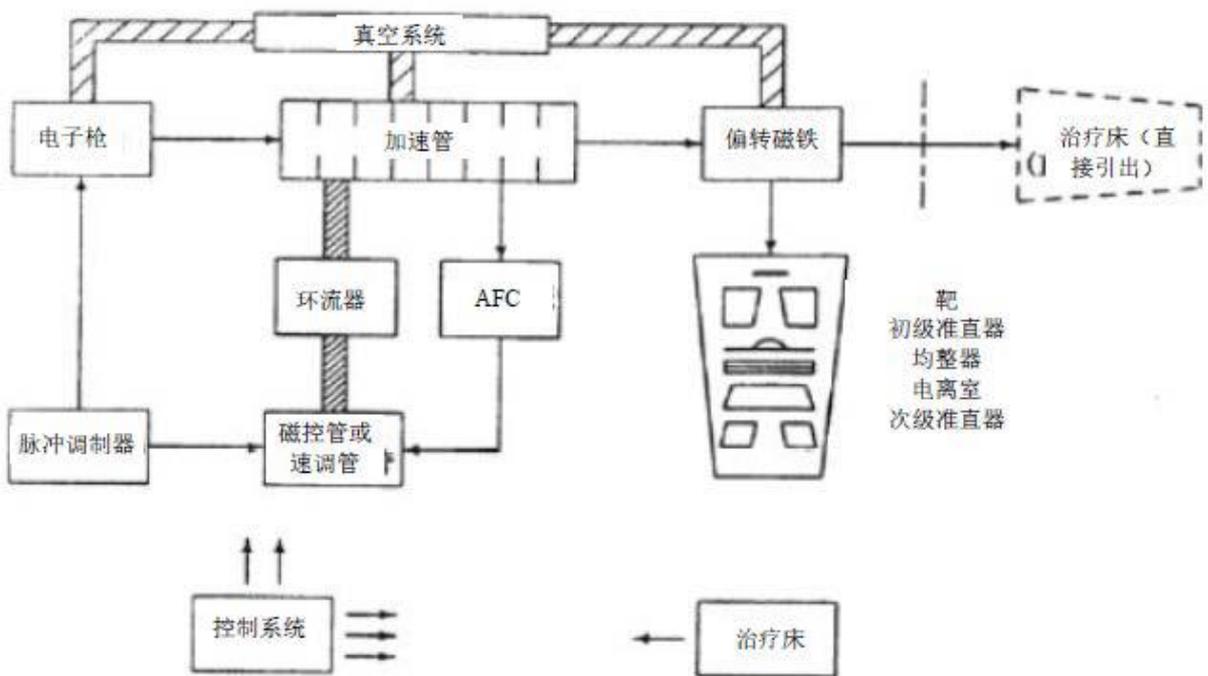
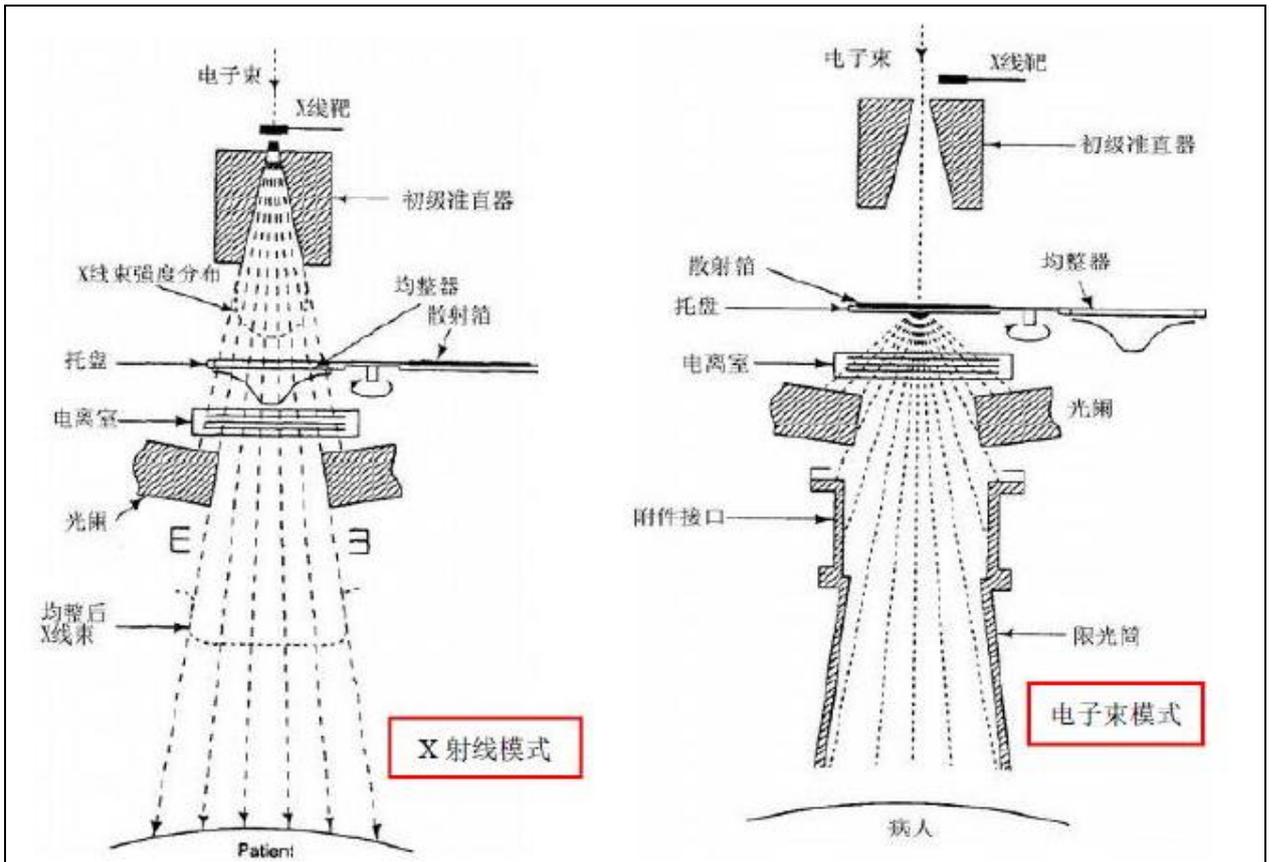


图9-3 典型医用直线加速器结构图



加速器结构图

图9-4 X射线和电子束治疗模式结构示意图



图9-5 典型医用直线加速器外观图

## 9.2.2 劳动定员和工作负荷

### (1) 劳动定员

本项目加速器机房拟配备2名医生、2名物理师和2名技师共6名辐射工作人员，新增的辐射工作人员拟新聘。

### (2) 工作负荷

根据医院提供的资料，直线加速器治疗工作量为60人/天，全年治疗约15000人次，其中常规治疗按1/3、调强治疗人数按2/3计算。则常规治疗平均每位病人治疗时间约1.5分钟，每周工作5天，即周照射时间约为 $60 \times 1/3 \times 1.5 \times 5/60 = 2.5\text{h}$ ，一年按50周计算，则年治疗照射时间为125h。调强放射治疗周出束时间为 $60 \times 2/3 \times 1.5 \times 5/60 = 5\text{h}$ ，年治疗出束时间为250h。调强因子N取5。

## 9.2.3 人流路径规划

本项目患者在等候区等待，叫号后经迷道进入加速器机房进行治疗，治疗完毕后经机房防护门出口从机房北侧出入口离开；本项目辐射工作人员经北侧出入口进入控制室，进入机房进行摆位工作，工作结束后原路返回。本项目人流规划路径见图9-6。

## 9.2.4 操作流程及产污环节

15MV直线加速器在进行放射治疗时，患者在射线机房内，医务操作人员位于射线机房外隔室操作。治疗时，射线机房可为医务人员以及墙外停留或通过的人员提供足够的屏蔽防护，并可防止在开机过程中，无关人员误入射线机房。

(1) 进行定位：先通过模拟定位CT机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

(2) 制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

(3) 检测相关记录，确认机器无故障记录后，开启设备，将控制钥匙旋转到ON位置。

(4) 医务人员带领患者进入射线装置机房，指导患者躺在正确位置，同时调整射线装置的相关参数。

(5) 医务人员退出机房，关闭好防护门并确认无异常情况后，开机治疗。

(6) 治疗结束，医务人员关闭加速器，并进入机房指导协助患者离开。

(7) 当天工作结束后，将控制钥匙转到OFF位置，取出控制钥匙，同时记录机器使用情况。

本项目医用电子直线加速器工作流程及产污环节见图9-7。

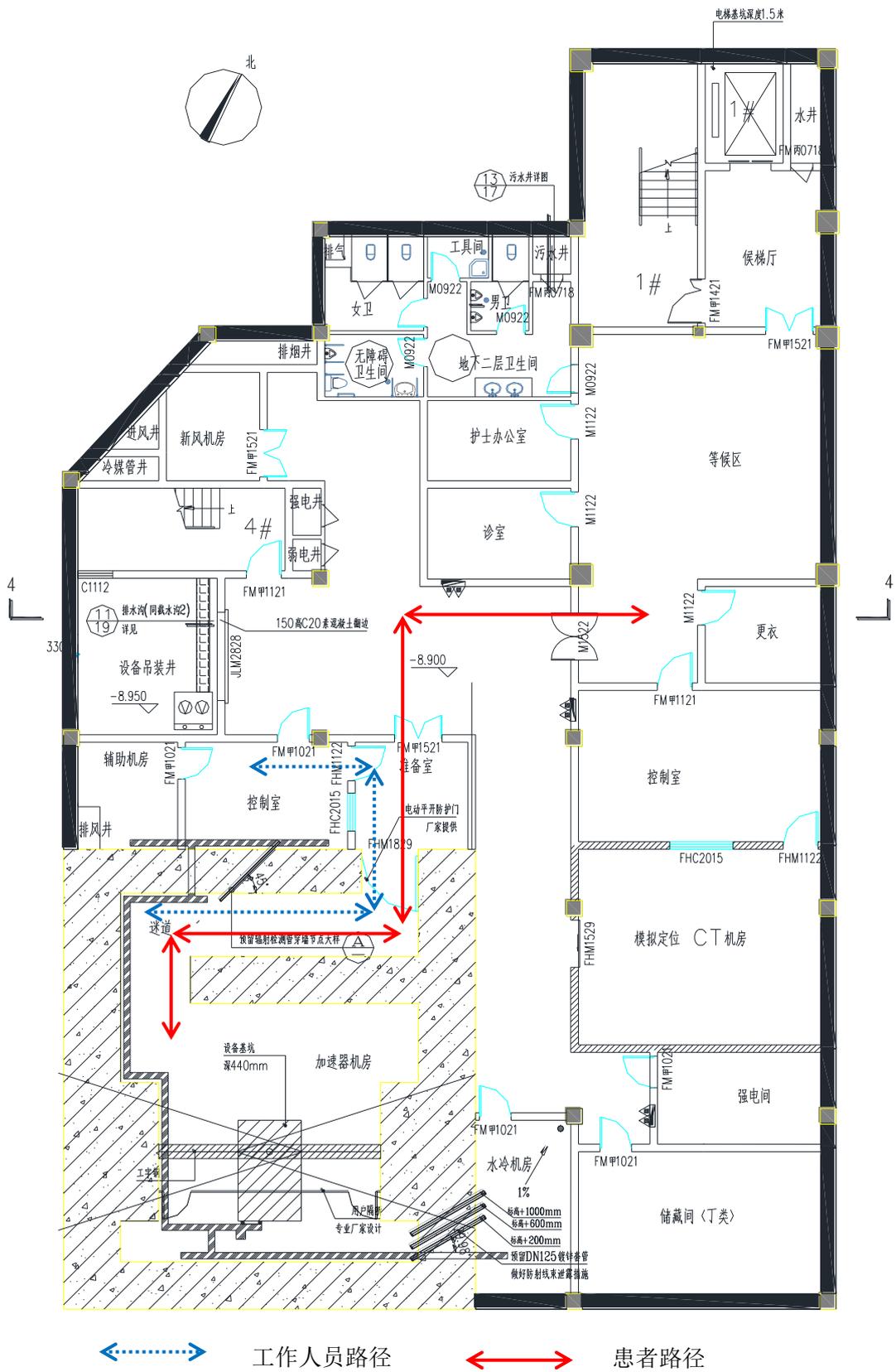


图9-6 本项目加速器机房人流规划路径图

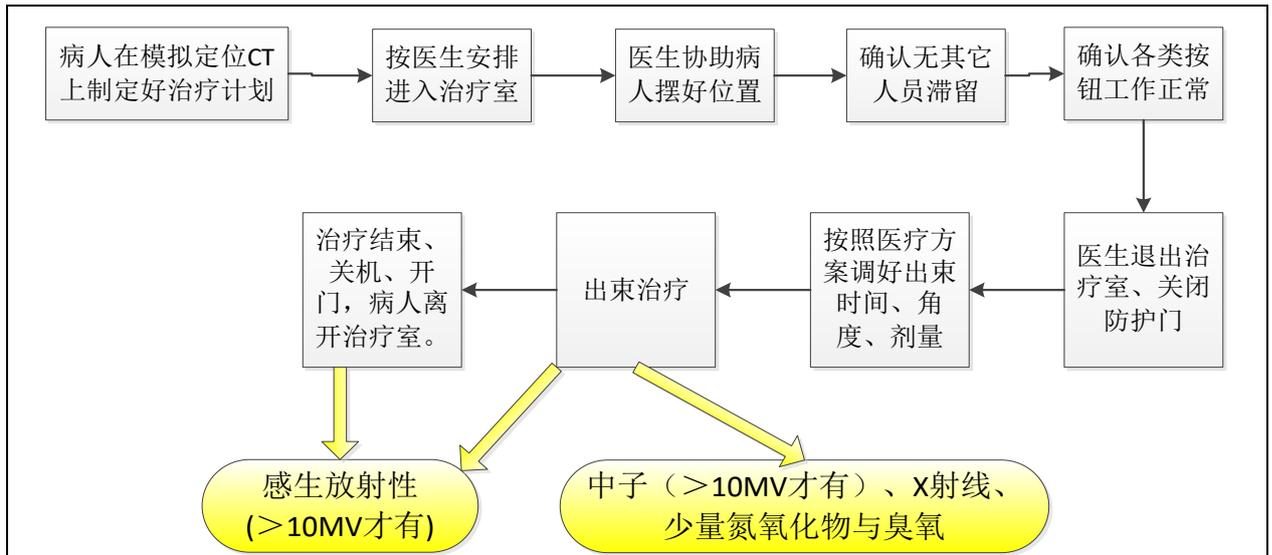


图9-7 本项目工作流程及产污环节分析图

## 9.3 污染源项描述

### 9.3.1 正常工况

#### (1) 放射性污染物

##### ① X 射线（电子线）

X 射线随机器的开、关而产生和消失，电子束的屏蔽要求远低于高能 X 线，故在机房屏蔽墙厚度计算时不用考虑。

##### A、有用线束

本项目直线加速器 X 射线普通治疗模式下能量最大为 15MV，X 射线 FFF 治疗模式下能量最大为 6MV，电子线最大能量为 21MeV，主射束方向为东、西屏蔽墙、顶棚与地面，X 射线普通治疗模式下距靶 1m 处最大空气吸收剂量率为  $6.00 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ ，X 射线 FFF 治疗模式下距靶 1m 处最大空气吸收剂量率为  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ ，电子束距靶 1m 处最大空气吸收剂量率为  $6.00 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ 。

##### B、泄漏辐射

本项目直线加速器运行产生的 X 射线泄漏辐射进入外环境，泄漏率小于或等于距靶 1m 处最大辐射剂量率的 0.1%。

##### C、散射辐射

本项目医用电子直线加速器运行产生的 X 射线散射辐射进入外环境，最大照射野为  $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ 。

##### ②中子

当医用电子加速器的 X 射线能量高于 10MeV 时，高能光子会与 X 射线靶、一级准

直器、X 射线均整器和治疗准直器多种高原子序数的材料如铅、钨等发生 ( $\gamma$ 、n) 光核反应，产生中子辐射。

由治疗机头中产生的中子分为 2 部分：一部分是混在 X 射线野内的原射快中子和经治疗机头衰减漏射出来的漏射中子组成的直射中子，另一部分是由治疗室墙壁、天花板、地板多次散射后的散射中子，散射中子其能量较低。上述中子是放射治疗工作中不需要的，所以又统称为污染中子。

中子的辐射生物效应远高于 X、 $\gamma$  射线，按中子能量高低其辐射权重因子( $W_R$ )为 5~20，因此在高能医用电子加速器的防护设计中需要考虑中子的防护。一般情况下，治疗室墙体、天花板的屏蔽厚度满足了对 X 射线的防护要求时也能够满足了对污染中子的防护要求，但要特别注意散射中子的防护，散射中子的影响主要考虑防护门的影响。

### ③感生放射性

当入射电子加速电压高于 10MeV，它发射的强电离辐射照射在加速器设备的结构材料，治疗室内的各种设备、器械，治疗室的墙壁等物质上时，都可能使它们活化而产生感生放射性。感生放射性主要包括加速器结构材料的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。感生放射性的剂量水平与加速器加速电子的能量、束流、靶体物质、照射时间等因素有关。它不与加速器辐射的发射同步。

加速器机房内空气活化产生的放射性核素，主要是  $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{11}\text{C}$  和  $^{41}\text{Ar}$ ，大部分半衰期都小于 1 分钟，长半衰期的核素产生率很低，这些放射性气体在空气中存在较短的时间。冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是  $^{15}\text{O}$  和  $^{13}\text{N}$ ，它们的半衰期分别为 2.1 分和 7.3 秒，其活度就可衰减到可忽略的水平。所以正常运行时被活化的水对人体的危害是不重要的，但在停机后立即检修水系统时，活化的放射性核素可能对人体造成危害。

由此可见，加速器产生的辐射源项有 X 射线、中子和感生放射性。

### ④废靶

如有废靶产生，根据《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)，应对废靶外表面进行辐射剂量率监测，由有资质的单位进行收贮。

## (2) 非放射性污染物

本项目废气为电离辐射产生的  $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_x$  等废气；本项目废水为工作人员产生少量的生活污水；本项目的固体废物，主要为工作人员产生的办公垃圾；本项目噪声主要设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声。

### 9.3.2 事故工况

对于医用电子直线加速器等射线装置的使用，当关机时不会产生 X 射线，不存在影

响辐射环境质量事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素，最大可能的事故主要有：

（1）加速器机房内有人未及时撤离，工作人员误操作加速器出束，发生超剂量照射；

（2）加速器机房由于安全联锁系统失效，加速器运行时无关人员误入机房，发生超剂量照射；

（3）维修时厂家维修人员和运行单位人员管理不当，加速器系统时发生异常出束，维修人员受到超剂量照射；

（4）加速器维修调试过程中，虽关闭了加速器高压，但未切断加速器电源，由于暗电流而造成的误照射。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 辐射工作场所布局

医院拟在感染楼地下二层新建 1 间直线加速器机房及控制室等配套用房，新增 1 台 15MV 医用电子直线加速器。

#### 10.1.1 工作场所布局合理性分析

机房六面情况（东、南、西、北、上、下）如表 10-1 所示。

表 10-1 加速器机房周边场所布局一览表

所在区域	辐射场所	方位	周边房间及场所
拟建感染楼 地下二层	直线加速器机房	东侧	过道、水冷机房
		南侧	实土层
		西侧	实土层
		北侧	控制室、设备机房
		楼上	绿化带
		楼下	实土层

本项目加速器机房位于拟建感染楼地下二层放疗中心，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）选址与布局的要求。

本项目加速器机房由治疗室、迷路和防护门组成，本项目加速器机房（治疗室）与控制室分离，符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离的规定”；加速器机房设置 L 型迷路，迷路口设有防护门，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“6.1.6X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； $\gamma$  刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。”的要求”。

本项目加速器的主射方向为东、西、顶棚与地面方向，不朝向控制室，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。”的要求。

本项目加速器机房的面积（不含迷路）约 57.4 m<sup>2</sup>，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要”的规定。

综上所述，本项目加速器机房平面布置是合理的。医用电子加速器工作场所放射防

护要求符合性分析见表 10-2。

**表 10-2 放疗中心放射防护要求符合性分析表**

<p>《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 与《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 的相关要求</p>	<p>本项目直线加速器机房防护设计</p>
<p>放射治疗场所宜单独选址、集中建设,或设置在多层建筑物的底层的一端,尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域,或人员流动性大的商业活动区域</p>	<p>本项目直线加速器机房位于拟建感染楼的地下二层西南侧,属于一端,且周边没有敏感区域,选址符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 和《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 的要求</p>
<p>放射治疗场所应划分控制区和监督。一般情况下,控制区包括加速器大厅、治疗室(含迷路)等场所,如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室,直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等;与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施,但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区(如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等)</p>	<p>直线加速器机房内部(包含迷路)为控制区,机房相邻的控制室、设备间及准备室划分为监督区</p>
<p>治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求,其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求</p>	<p>经预测,加速器机房有用线束照射方向及其他方向的防护屏蔽均满足相应屏蔽要求。</p>
<p>治疗设备控制室应与治疗机房分开设置,治疗设备辅助机械、电器、水冷设备,凡是可以与治疗设备分离的,尽可能设置于治疗机房外</p>	<p>本项目直线加速器治疗机房与控制室、设备间、及其他功能用房分开设计</p>
<p>应合理设置有用线束的朝向,直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他距离因子较大的用室,尽可能避开被有用线束直接照射</p>	<p>本项目加速器机房控制室与设备间均避开有用线束的照射方向</p>
<p>放射治疗机房应有足够的有效使用空间,以确保放射治疗设备的临床应用需要</p>	<p>本项目加速器机房治疗室(不含迷道)有效使用面积约 57.4m<sup>2</sup></p>

放射治疗机房应设置强制排风系统,进风口应设在放射治疗机房上部,排风口应设在治疗机房下部,进风口与排风口位置应对角设置,以确保室内空气充分交换;通风换气次数应不小于4次/h	本项目加速器机房采用机械通风,进排风口呈“上进下出,对角设置”,机房设计排风量为2000m <sup>3</sup> /h,加速器机房(含迷道)体积约为300m <sup>3</sup> ,设计通风换气次数约6.7次/h
治疗机房(不包括移动式电子加速器治疗机房)墙和入口门外30cm处(关注点)的周围剂量当量率应不大于其所确定的周围剂量当量率参考控制水平	经后文预测,加速器机房四周屏蔽墙和入口防护门外30cm处的周围剂量当量率均不大于其所导出的周围剂量当量率参考控制水平
屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素,符合最优化要求,新建机房一般选用普通混凝土	本项目加速器机房为混凝土材料浇筑
医用电子直线加速器治疗室(一般在迷道的内入口处)应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能,其显示单元设置在控制室内或机房门附近	加速器机房迷路内墙拟安装固定式剂量报警仪装置
放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施,治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置,防护门应有防挤压功能	拟按要求设置
放射治疗工作场所的入口处,设有电离辐射警告标志;放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置,设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯	拟按要求设置
放射治疗设备控制台上应设置急停开关,除移动加速器机房外,放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置	拟按要求设置
控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置;还应设置对讲交流系统,以便操作者和患者之间进行双向交流	拟按要求设置
符合性分析	符合

由上述可知,本项目加速器机房的放射防护要求均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)与《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)中的相应要求。

### 10.1.2 两区划分

建设单位拟按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)与《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)要求,把工作场所分为控制区、监督区,以便于辐射防护管理和职业照射控制。

本项目两区划分及场所布局见图 10-1。本项目分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的规定,将辐射工作区域进行分区,同时对控制区和监督区采取相应的措施,可以有效避免人员误闯入而造成的误照。

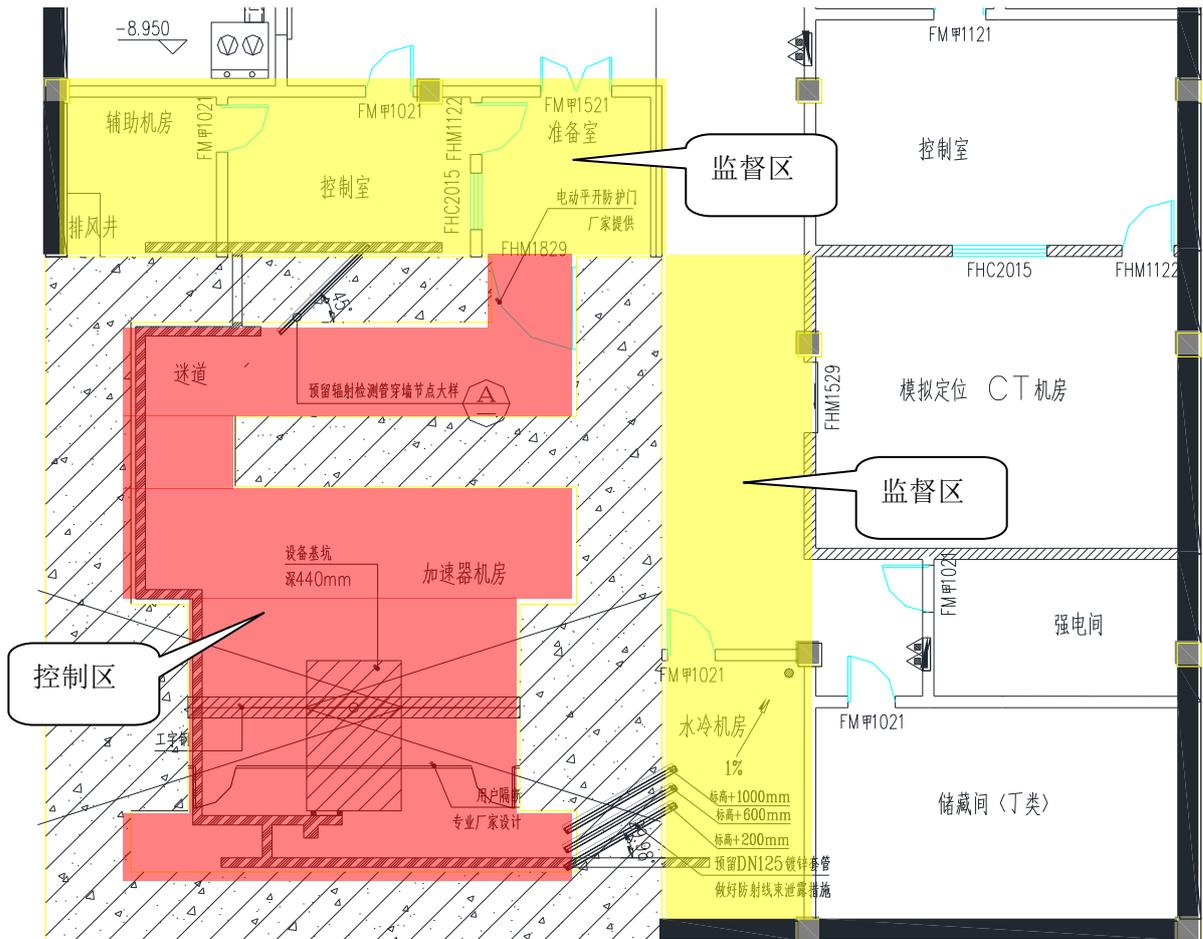


图 10-1 本项目辐射工作场所控制区和监督区划分示意图

**控制区：**将加速器机房内区域划为控制区,在控制区的进出口及适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志和工作状态指示灯。指定放射安全防护管理制度,严格限制无关人员进出控制区,在正常工作过程中,区内不得有无关人员进入。

**监督区：**将加速器机房相邻的控制室、水冷机房、设备间及准备室划分为监督区,提醒无关人员不要靠近,对该区不采取专门防护手段安全措施,但要定期检测其辐射剂量率。在正常工作过程中,监督区内不得有无关人员滞留。

### 10.1.3 加速器机房屏蔽防护设施

#### (1) 加速器机房屏蔽设计

加速器机房的屏蔽防护设计详见表 10-3。

表 10-3 加速器机房屏蔽参数

部位	尺寸/厚度	部位	尺寸/厚度
东西长度	7000mm	南墙厚度	1500mm
南北宽度	8200mm	北侧迷道内墙厚度	1500mm
机房高度	3800mm	北侧迷道外墙厚度	1400mm
东墙主防护墙厚度	3000mm	顶盖主防护墙厚度	3000mm
东墙副防护墙厚度	1800mm	顶盖副防护墙厚度	1700mm
东墙主防护墙宽度	4400mm	顶盖主防护墙宽度	4400mm
西墙主防护墙厚度	3000mm	迷道宽度	2000mm
西墙副防护墙厚度	1800mm	内入口宽度	2200mm
西墙主防护墙宽度	4400mm	外入口宽度	1800mm (门洞)
防护门	20mmPb+15cm 含硼 5%的聚乙烯		

注：砷的密度为  $2.35\text{g/cm}^3$ ，铅的密度为  $11.34\text{g/cm}^3$ 。

#### (2) 通风设计

本项目加速器机房设计采用机械通风换气，机房分别设置新风管道和排风管道，风管均从防护门上方进入机房，沿着迷路走向到达机房内治疗区；排风管的风口设计在机房中进风管道的出气口对角区域，进风口设在天花板，出风口靠近地坪位置，距离地面约 300mm。预埋风管管道在防护门上方采用斜“L”型设计穿过屏蔽墙体，并在穿墙处用铅板做辐射屏蔽补偿。

本项目加速器机房废气经排风管在加速器机房西北侧排风井排放，风井外排口位于地面一层绿化带，进行了防雨、防鸟、防虫设计，废气最终排至大气环境。

本项目加速器机房送风量为  $1600\text{m}^3/\text{h}$ ，排风量为  $2000\text{m}^3/\text{h}$ ，加速器机房（含迷道）体积约为  $300\text{m}^3$ ，设计通风换气次数约 6.7 次/h，加速器机房进风口与排风口位置对角设置，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中的相关规定。

本项目加速器加速器治疗室通风系统管道布局见附图 6 和附图 7。

#### (3) 电缆管线穿墙设计

本项目加速器机房电缆、水冷系统管道采用电缆沟布设，其中电缆管道电缆沟沿治疗室西墙布设，埋地“∟”型穿迷道外墙延伸至控制室；水冷系统管道电缆沟在东墙次屏蔽区处  $45^\circ$  穿墙至水冷机房。

本项目加速器机房的电缆沟穿墙孔避开初级射线直接照射，并采用 3mm 铅板+2mm 钢板的盖板进行屏蔽补偿，不会破坏治疗室的整体屏蔽效果。本项目加速器机房的电缆沟布设见附图 8。本项目加速器机房电缆管道电缆沟穿墙示意图见图 10-2，水冷系统管道电缆沟穿墙示意图见图 10-3。

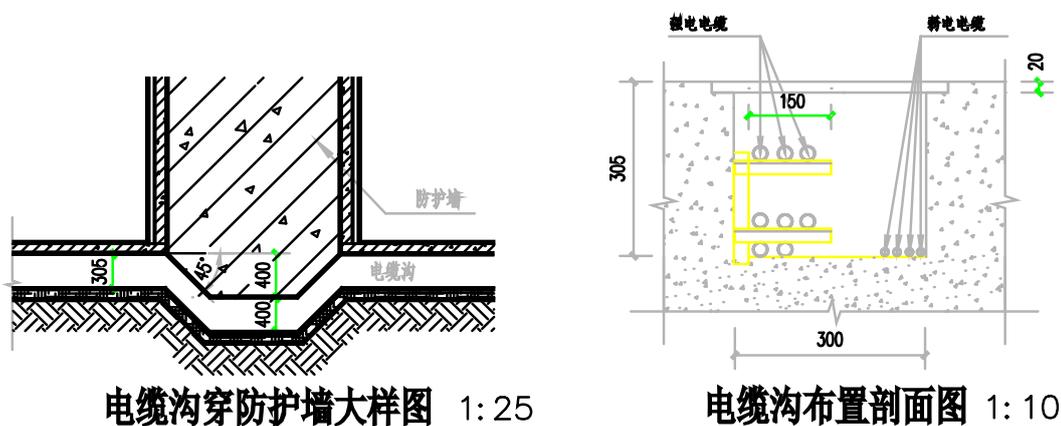


图 10-2 本项目加速器机房电缆管道电缆沟穿墙示意图

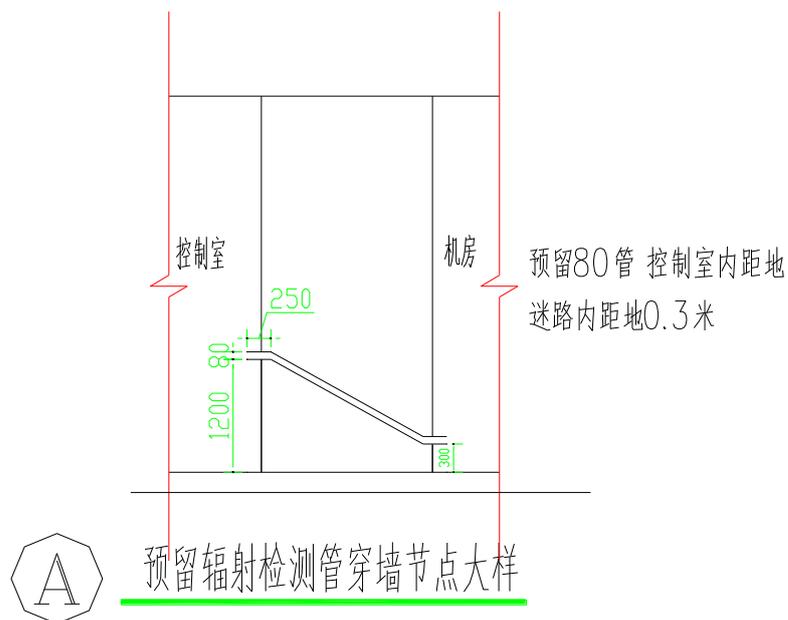


图 10-3 本项目加速器机房水冷系统管道电缆沟穿墙示意图

#### 10.1.4 加速器机房辐射安全防护措施

(1) 钥匙开关联锁：加速器放疗装置本身具有电源的钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动治疗装置。

(2) 门机联锁和手动开门装置：加速器机房拟安装门机联锁装置或设施，机房内拟设从室内开启防护门的装置，防护门拟设有防挤压功能。加速器机房拟设置手摇式手动开门装置，在紧急情况下使用。

(3) 紧急停机按钮：加速器机房内关键部位墙面、迷路内墙面和控制室内均拟设置紧急停止开关并有明显标志，供紧急停止使用。事故处理完毕后，进行本地复位后，加速器才能重新启动。

(4) 工作状态指示灯、电离辐射警告标志和声音报警器：在加速器机房防护门外拟安装工作状态指示灯和电离辐射警告标志，其中工作状态指示灯具备开机、停机指示，并与医用电子直线加速器联锁。放疗中心大门入口处拟设置电离辐射警告标志。

(5) 控制室拟设置监控系统：在加速器机房内设有摄像监视系统，使控制室的工作人员可清楚地观察到机房内加速器的工作情况，如发生意外情况可及时处理。机房和控制室之间设置对讲系统，方便操作人员与患者的交流。建设单位应在设备型号确定后进一步完善摄像头的数量和位置，确保对机房内无死角监控。

(6) 实时辐射水平监测系统：在加速器机房内拟设置固定式剂量率仪监测探头，实时监测到辐射剂量率水平显示在控制室中，并具有报警功能，工作人员可以及时了解加速器的工作情况以及机房中的辐射水平。

(7) 加速器机房及控制内，拟设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施。

(8) 机房控制室墙上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。上墙制度包括《辐射安全管理规定》、《岗位职责》、《设备操作规程》、《辐射事故应急响应程度》，制度字体醒目，尺寸大小应不小于 400mm×600mm。

医用电子直线加速器的安全联锁逻辑图如图 10-4。

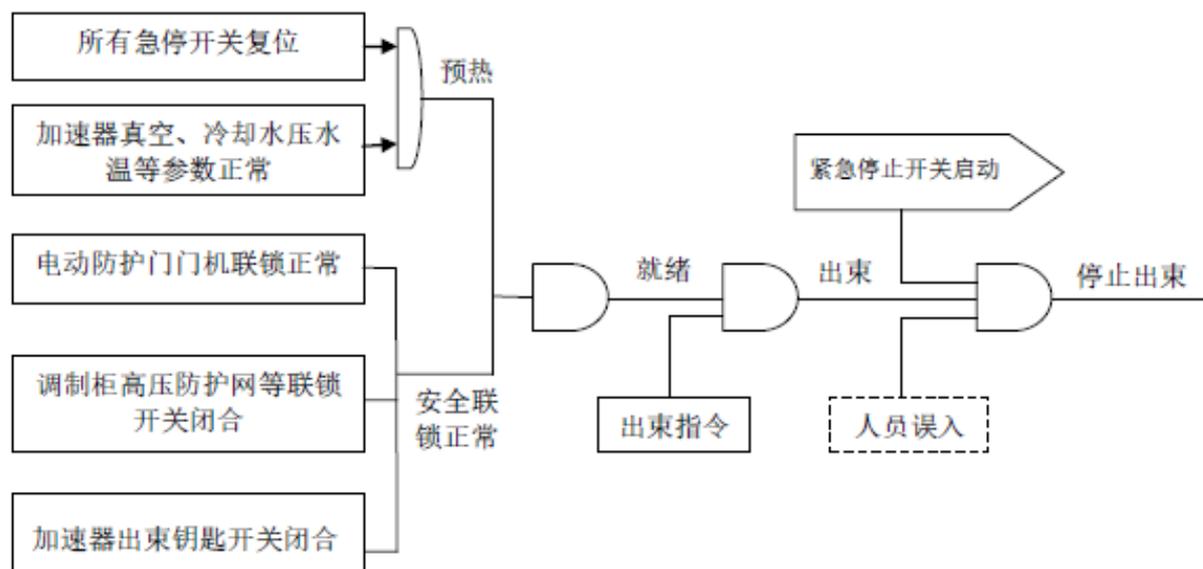


图 10-4 医用电子直线加速器的安全联锁逻辑图

### 10.1.5 加速器安全管理措施

(1) 本项目加速器辐射工作人员拟参加辐射安全防护培训,经考核合格后方可上岗,并按时接受再培训。

(2) 操作人员拟定期检查加速器的安全联锁、紧急停机按钮、钥匙开关、通风换气装置、剂量监测装置与警示标志等,确认其处于正常状态。

(3) 加速器操作、安装调试和检修维护人员在工作过程中,应按要求配戴个人剂量计和按要求携带个人剂量报警仪。进行加速器设备的调试和维修期间,本项目辐射工作人员需将设备的控制权暂时移交给设备厂家工作人员,本项目辐射工作人员不参与设备的控制与维修,防止维修期间工作人员在加速器机房误照射。加速器试用、调试、检修期间,控制室须有工作人员值守,在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区。

(4) 本项目加速器机房拟配备 1 台辐射巡测仪、1 台中子周围剂量当量仪、6 支个人剂量计、2 台个人剂量报警仪、1 台固定式辐射剂量监测仪(安装在迷路内墙),能够满足相关辐射防护相关要求。

### 10.2 “三废”处理措施

#### (1) 废气

加速器运行过程,辐射会与空气发生电离作用,产生臭氧和氮氧化物等有害气体,相比之下臭氧的危害较氮氧化物大,其产额高,毒性大,氮氧化物  $\text{NO}_x$  产额为  $\text{O}_3$  的 1/3。本项目加速器机房新风量为  $1600\text{m}^3/\text{h}$ ,采用独立的排风系统,设计排风量为  $2000\text{m}^3/\text{h}$ ,加速器机房(含迷道)体积约为  $300\text{m}^3$ ,设计通风换气次数约 6.7 次/h,加速器机房进风口与排风口位置对角设置,满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)中“6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统,进风口应设在放射治疗机房上部,排风口应设在治疗机房下部,进风口与排风口位置应对角设置,以确保室内空气充分交换;通风换气次数应不小于 4 次/h。”的规定。本项目加速器机房废气经排风管在加速器机房西北侧排风井排放,风井外排口位于地面一层绿化带,并且排放口风管端口进行了防雨、防鸟、防虫设计,废气最终排至大气环境。

#### (2) 废水

本项目直线加速器运行期间冷却水不具有放射性,每次维修时排放冷却水约 100L。

事故或检修状况下加速器的活化冷却水应按照放射性废液管理要求妥善收集贮存,暂存衰变至低于豁免水平后可作为普通废液处理,并做好存档记录。

### (3) 固废

如有废靶产生，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在加速器机房内，最终送交有资质的单位收贮。

如有报废的离子交换树脂产生，先放进屏蔽容器，暂存在加速器机房内，经衰变后仍超出清洁解控水平的送交有资质的单位收贮。

建设单位应建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。

本项目辐射工作人员为医院新聘人员，新增生活垃圾，加速器治疗过程中会产生少量普通医疗废物，产生量很少，少量医疗固废暂存于医疗废物暂存间，委托有资质单位定期进行无害化处置。

### (4) 感生放射性

所有能量超过 10MeV 的粒子加速器都将产生或多或少的感生放射性，这是加速器的瞬时辐射场（包括初级粒子和次级粒子）与加速器组件和周围物质相互作用产生活化产物的结果。根据相关研究表明，在加速器使用过程中，放射治疗工作人员年受照剂量的 1/3 是由感生放射性造成的，考虑到空气中形成的感生放射性核素能够被吸入而形成内照射的事实，感生放射性造成的剂量实际上更高。

感生放射性核素的活度和半衰期的范围都很宽，但大多数放射性核素的半衰期比较短，停机 5~10 分钟后就可以减弱到初始值的一半，因此，对感生放射性的有效防护措施之一就是等其自然衰变。建议医生或技师在停机 10 分钟后再进入加速器机房。

## 10.3 服务期满后的环境保护措施

对拟报废的射线装置，医院应根据《浙江省辐射环境管理办法》（2021 年修正）第十八条规定，需要报废 X 射线装置的，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解，并报颁发辐射安全许可证的生态环境主管部门核销。

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

#### 11.1.1 施工期环境影响分析

本项目加速器机房在拟建感染楼的地下二层，为新建，主要环境影响因素包括施工扬尘、废水、噪声和固体废物。

(1) 施工扬尘主要产生于施工过程中粉状物料运输、暂存，属无组织排放，在施工过程中应做好粉状物料的遮盖、防风和洒水等防治措施。

(2) 施工期废水主要来自施工过程的少量物料拌和用水，物料拌和用水随物料用于建筑施工，通过自然蒸发耗散；施工人员少量的生活污水将依托医院现有的生活、卫生设施。

(3) 噪声主要是运输车辆、切割机等施工机械运行时的噪声，均为间歇性运行，运行时间短，并且均在本项目场地内施工。

(4) 施工期间固体废物主要为施工人员的生活垃圾。施工期的生活垃圾及时清运或定期运至环卫部门指定的地点合理处理处置。

施工单位应遵守生态环境部门对工程施工的有关规定和管理要求。建设单位应对施工单位进行有效监督。

#### 11.1.2 设备安装调试阶段对环境的影响

医院直线加速器的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装及调试。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，保证各屏蔽体及防护措施到位，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体及防护门窗的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方应及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

### 11.2 运行阶段对环境的影响

本项目医用电子直线加速器普通模式 X 射线最高能量为 15MV，普通模式 X 射线最高剂量率 10Gy/min，FFF 模式 X 射线最高能量为 6MV，FFF 模式 X 射线最高剂量率为 24Gy/min；电子线最高能量为 21MeV，电子线最高剂量率 10Gy/min，主射束朝向东、西、顶棚与地面，属于 II 类射线装置。保守估计，本项目采用 15MV、24Gy/min 进行估算。

#### 11.2.1 关注点位设置

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 与《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 的要求，在本项目直线加速器机房外表面 30cm 处，人员受照的剂量当

量可能最大的位置设定关注点对机房的屏蔽体进行核算，关注点位见图 11-1。本项目的居留因子选取根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的要求，具体数值见表 11-1，加速器机房各关注点一览表见表 11-2。

**表 11-1 不同场所的居留因子**

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、移动式电子加速器的相邻手术室与诊室、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑中的驻留区
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2: 与屏蔽室相邻的患者检查室 1/5: 走廊、工作人员休息室
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗机房房门外 30cm 处、相邻的（共用屏蔽墙）放射治疗机房 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货区域、楼梯、无人看管的电梯

**表 11-2 加速器机房各关注点一览表**

机房	关注点	点位描述	居留因子	备注
加速器 机房	A	东侧主防护墙中点外 30cm 处，水冷机房	1/16	偶然居留
	B	东侧主防护墙副防护墙连接处外 30cm，过道	1/5	部分居留
	C	迷道外墙外 30cm 处，控制室	1	全居留
	D	迷道外墙外 30cm 处，辅助机房	1/16	偶然居留
	E	顶盖主防护墙中点上方 30cm 处，一层绿化带	1/20	偶然居留
	F	顶盖主防护墙副防护墙连接处外 30cm，一层绿化带	1/20	偶然居留
	G	加速器机房门外 30cm 处，准备室	1/8	偶然居留

注：1、本项目南墙、西墙、地下均为实土层，人员无法到达。

2、本项目过道居留因子取 1/5，屋顶绿化带居留因子取 1/20 防护门居留因子取 1/8，其他关注点取典型值。



图 11-1 加速器机房关注点和主要照射路径

### 11.2.2 导出剂量率参考控制水平确定

本项目根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)与《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分:电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)的相关要求确定导出剂量率参考控制水平。

(1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子,由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平。

$$\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \quad \text{公式 11-1}$$

$\dot{H}_c$ ——周围剂量当量率参考控制水平,单位为微希沃特每小时 ( $\mu\text{Sv/h}$ );

$H_e$ ——周剂量参考控制水平,单位为微希沃特每周 ( $\mu\text{Sv/周}$ ),其值按如下方式取值:  
放射治疗机房外控制区的工作人员:  $\leq 100\mu\text{Sv/周}$ ;放射治疗机房外非控制区的人员:  $\leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

t——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（h/周）；本项目加速器有用线束和散射线束取 7.5h（常规治疗 2.5h+调强治疗 5h），漏射线束取值 27.5h（常规治疗 2.5h+调强治疗 5h×5）。

U——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T——人员在关注点位置的居留因子。

对于与主屏蔽直接相连的次屏蔽区，属于复合辐射。根据 GBZ/T 201.2-2011 中附录 A2.2 复合辐射，导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  需考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射，其中患者散射导出剂量率参考控制水平为  $H_{c,max}$  的一半；泄漏辐射导出剂量参考控制水平用公式（11-1），式中  $H_c$  以  $0.5H_c$  代替；二者之和为该关注点的导出剂量率参考控制水平。

（2）按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平  $H_{c,max}$ 。

A、人员居留因子  $T > 1/2$  的场所： $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

B、人员居留因子  $T \leq 1/2$  的场所： $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

（3）由上述导出周围剂量当量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  和最高周围剂量当量率参考控制水平  $H_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平。

各关注点剂量率控制水平计算结果见表 11-3。

表 11-3 各关注点剂量率控制水平

关注点	辐射类型	居留因子 (T)	使用因子 (U)	周治疗照射时间 (t)	$H_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	$\dot{H}_c$ 计算值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )				$H_{c,max}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$H_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 最终取值
						有用	泄漏	散射	合计		
A	有用	1/16	1/4	7.5	5	42.7	-	-	42.7	10	10
B	复合	1/5	1	7.5 或 27.5*	5	-	0.91	5	5.91	10	5.91
C	泄漏	1	1	27.5	100	-	3.64	-	3.64	2.5	2.5
D	泄漏	1/16	1	27.5	5	-	2.91	-	2.91	10	2.91
E	有用	1/20	1/4	7.5	5	53.3	-	-	53.3	10	10
F	复合	1/20	1	7.5 或 27.5*	5	-	3.64	5	8.64	10	8.64
G	复合	1/8	1	7.5 或 27.5*	5	-	1.45	5	6.45	10	6.45

注：\*代表该关注点散射线束取 7.5h，漏射线束取值 27.5h。

### 11.2.3 加速器机房屏蔽主屏蔽区宽度校核

本项目直线加速器主射线的最大出束角度为  $28^\circ$ ，机房主屏蔽区包括屋顶及东墙（西墙和地下为实土层，人员无法到达）。

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

$$Y_p = 2[(a + SAD) \cdot \tan\theta + 0.3] \quad \text{公式 11-2}$$

式中， $Y_p$ ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD——源轴距，m；

$\theta$ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线）；

$a$ ——等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

将各参数代入公式（11-2），可得出本项目加速器机房的主屏蔽宽度，核算结果见表 11-4。

表 11-4 本项目加速器机房主屏蔽区宽度设计核算结果

参数	东墙主屏蔽	西墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
a (m)	4.7	4.7	4.2
SAD (m)	1	1	1
$\theta$ ( $^\circ$ )	14	14	14
计算宽度 $Y_p$ (m)	3.44	3.44	3.19
设计宽度 (m)	4.4	4.4	4.4
评价	满足	满足	满足

环评要求：设备厂家和建设单位在进行直线加速器安装时，必须严格按照既定的摆位方式进行安装，即主射束为东侧、西侧、顶棚及地面，杜绝安装后主射方向超出屏蔽范围的情况出现。

### 11.2.4 加速器机房屏蔽体效果分析

#### ①主屏蔽区屏蔽效果预测（关注点 A、E）

射线路径（射线类型）： $O_1 \rightarrow A$ （主射线）， $O_3 \rightarrow E$ （主射线）。

使用 GBZ/T 201.2 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算，在给定的屏蔽物质厚度  $X$  (cm) 时，首先按照公式（11-3）计算有效厚度  $X_e$  (cm)，然后按照公式（11-4）计算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ ，最后按照公式（11-5）计算屏蔽体外关注点的剂量率。

$$X_e = X / \cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad \text{公式 11-3}$$

式中，X-设计屏蔽厚度，cm；

$\theta$ -斜射角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \quad \text{公式 11-4}$$

式中，TVL<sub>1</sub> (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL<sub>1</sub> 时，TVL<sub>1</sub>=TVL。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。

本项目中，A 点、E 点相应厚度主屏蔽的 B 值核算见表 11-5。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 11-5}$$

式中， $\dot{H}_0$ ：加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的

常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目 15MV 加速器为  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R：靶点至参考点的距离，m，本项目参考点为相应屏蔽体外 30cm；

f：对有用线束为 1。

将各参数代入模式计算，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率  $\dot{H}$  ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )，辐射剂量率计算参数和计算结果表 11-5。

**表 11-5 主屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果**

关注点	东墙主屏蔽 (A 点)	屋顶主屏蔽 (E 点)
X (cm)	300 砵	340 砵 <sup>①</sup>
$\theta$ (°)	0	0
X <sub>e</sub> (cm)	300	340
TVL (cm)	41	41
TVL <sub>1</sub> (cm)	44	44
R (m)	7.8	8.9
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$
f	1	1
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	1.35	0.11
H <sub>c</sub> ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) (剂量率参考控制水平)	10	10
评价结果	满足	满足

注：①屋顶上侧有 400mm 的混凝土。

#### ②侧屏蔽墙屏蔽效果预测 (关注点 C)

射线路径 (射线类型)：O→C (泄漏射线)。

泄漏辐射：估算方法类似主屏蔽区。TVL<sub>1</sub>和TVL为附录B表B.1的泄漏辐射值，分别为TVL<sub>1</sub>=36cm，TVL=33cm。f点辐射剂量率计算参数和计算结果见表11-6。

表 11-6 侧屏蔽墙泄漏射线辐射率计算参数和计算结果

参数	北墙侧屏蔽 (C点)
X (cm)	290 砵
$\theta$ (°)	0
X <sub>e</sub> (cm)	290 砵
TVL (cm)	33
TVL <sub>1</sub> (cm)	36
R (m)	9.3
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	$1.44\times 10^9$
f	0.001
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$3.4\times 10^{-5}$
H <sub>c</sub> ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) (剂量率参考控制水平)	2.5
评价结果	满足

### ③与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的屏蔽效果预测 (关注点 B、F)

#### 射线路径 (射线类型)

O<sub>1</sub>→O→B (散射射线)，O<sub>3</sub>→O→F (散射射线)。

O→B (泄漏射线)，O→F (泄漏射线)。

根据附图9可知，B、F点处的斜射角与散射角 $\theta$ 均约为30°，故B、F点处的斜射角与散射角 $\theta$ 均按30°来估算。

#### 泄漏辐射屏蔽计算

泄漏辐射屏蔽结果通过公式(11-5)进行计算，其中f=0.001(泄漏辐射比率，根据《医用电子直线加速器质量控制检测规范》(WS 674-2020)要求，M区域外的泄漏辐射(中子除外)，直径为2m的平面内(但不包括M区域)的泄漏辐射所致的吸收剂量衰减到以下水平：其平均值应不超过中心的0.1%)，公式(11-4)的TVL<sub>1</sub>和TVL保守取附录B表B.1的泄漏辐射值，分别为TVL<sub>1</sub>=36cm，TVL=33cm。

#### 散射辐射屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度X(cm)时，首先按照公式(11-3)计算有效厚度X<sub>e</sub>(cm)，按照公式(11-4)估算屏蔽物质的屏蔽透射因子B<sub>s</sub>(其中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表B.4知，对于15MV射线，当散射角30°时，患者散射辐射在混凝土中什值层为31cm)，再按照公式(11-6)计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad \text{公式 11-6}$$

式中， $\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目 15MV 加速器为  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

$\alpha_{ph}$ —为患者  $400\text{cm}^2$  面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称  $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。其取值见表 11-7。

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， $\text{cm}^2$ ，本项目为  $40\text{cm} \times 40\text{cm} = 1600\text{cm}^2$ 。

$R_s$ —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

与主屏蔽区相连的次屏蔽区外泄漏辐射与患者一次散射辐射的计算参数和计算结果见表 11-7。

**表 11-7 与主屏蔽区相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果**

	关注点	东墙（B 点）	顶盖（F 点）
泄漏辐射	X (cm)	180 砵	210 砵 <sup>①</sup>
	$\theta$ (°)	30	30
	Xe (cm)	207.8 砵	242.5 <sup>①</sup> 砵
	TVL (cm)	33	33
	TVL <sub>1</sub> (cm)	36	36
	R (m)	8	8.9
	$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$
	f	0.001	0.001
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	0.014	0.001
散射辐射	TVL (cm)	31	31
	TVL <sub>1</sub> (cm)	31	31
	$R_s$ (m)	8	8.9
	$\alpha_{ph}$	$3.18 \times 10^{-3}$	$3.18 \times 10^{-3}$
	F ( $\text{cm}^2$ )	1600	1600
	$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	0.057	0.0035
泄漏辐射和散射辐射的复合作用( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )		0.071	0.0045
$H_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) (剂量率参考控制水平)		5.91	8.64
评价		满足	满足

注：①屋顶上侧有 400mm 的混凝土。

#### ④迷路外墙屏蔽效果预测（关注点 D）

射线路径（射线类型）： $O_1 \rightarrow D$ （泄漏射线）。

$O_1$  点的泄漏辐射至迷道外墙 D 点的斜射角度小于  $30^\circ$ ，以垂直入射保守计算，核算方法同 C 点。公式(11-3)的  $TVL_1$  和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为  $TVL_1=36\text{cm}$ ， $TVL=33\text{cm}$ ，取泄漏因子  $f=0.001$ ，D 点辐射剂量率计算参数及计算结果见表 11-8。

表 11-8 迷路外墙参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数		迷路外墙（D 点）
X (cm)		140 砧
$\theta$ ( $^\circ$ )		0
$X_e$ (cm)		140 砧
$TVL_1$ (cm)		36
TVL (cm)		33
R (m)		10.8
f		0.001
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )		$1.44 \times 10^9$
相应屏蔽体外关注点剂量率 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$\dot{H}$ 估算值	0.011
	$H_c$ 控制值	2.91
	评价结果	满足

#### ⑤迷路入口处辐射水平核算（G 点）

对于高能医用电子直线加速器，迷道外入口处剂量一般由三部分组成：一是中子俘获  $\gamma$  射线剂量，二是泄漏和散射辐射剂量，三是中子剂量，计算过程如下：

(a) G 点泄漏辐射剂量核算方法同 D 点。

(b) 机房入口的中子剂量率计算模式及参数

1) 总中子注量

总中子注量由下公式 (11-7) 计算

$$\varphi_M = Q_N / 4\pi d_1^2 + 5.4Q_N / 2\pi S + 1.26Q_N / 2\pi S \quad \text{公式 11-7}$$

式中， $\varphi_M$ —等中心处 1Gy 治疗照射时 M 处的总中子注量，(中子数/ $\text{m}^2$ ) /Gy；

$Q_N$ —中子强度，单位为  $10^{12}\text{n}/\text{X}$  射线 Gy（等中心处）， $Q_N=0.92 \times 10^{12}\text{n}/\text{X}$  射线 Gy

（取 Siemens20MV 机参数）；

$d_1$ —等中心到迷宫内入口处 M 点距离， $d_1=7\text{m}$ ；

S—治疗室内表面总面积，治疗室高 3.8m，长 7m，宽 8.2m；

$$S=2 \times (3.8 \times 7 + 3.8 \times 8.2 + 7 \times 8.2) = 230.32 \text{m}^2。$$

2) 机房入口的中子剂量率 ( $\dot{H}_n$ )

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (G) 处无防护门时的剂量率  $\dot{H}_n$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 按公式 (11-8) 计算:

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \varphi_M \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-d_2/1.9} + 10^{-d_2/T_n}] \cdot \dot{H}_0 \quad \text{公式 11-8}$$

式中:

$2.4 \times 10^{-15}$  — 该计算方法中的经验因子, Sv/ (中子数/ $\text{m}^2$ );

$S_0$  — 迷路内口的面积,  $S_0=8.36 \text{m}^2$ ;

$S_1$  — 迷路横截面积,  $S_1=7.6 \text{m}^2$ ;

$d_2$  — M 点至机房入口 (G) 的距离,  $d_2=9.5 \text{m}$ ;

$T_n$  — 迷路中能量相对高的中子剂量组分公式 (11-8) 方括号中的第二项衰减至十分之一行径的距离 (m), 称为什值距离。 $T_n$  是一个经验值, 与迷路横截面积有关,  $T_n$  按公式 (11-9) 计算:

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1} \quad \text{公式 11-9}$$

3) 机房入口的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率 ( $\dot{H}_\gamma$ )

机房内及迷路中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获  $\gamma$  射线, 机房入口门外 30cm (G) 处无防护门时的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率  $\dot{H}_\gamma$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 按公式 (11-10) 计算:

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \varphi_M \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot \dot{H}_0 \quad \text{公式 11-10}$$

式中:

$6.9 \times 10^{-16}$  — 该方法中的经验因子, Sv/ (中子数/ $\text{m}^2$ );

$\varphi_M$  — 等中心处 1Gy 治疗照射时 M 处的总中子注量, (中子数/ $\text{m}^2$ )/Gy;

$d_2$  — M 点至机房入口 (G) 的距离;

TVD — 将  $\gamma$  辐射剂量减至其十分之一的距离 (称为什值距离), 对于 18MV~25MV 加速器为 5.4m, 对于 15MV 加速器为 3.9m;

$\dot{H}_0$  — 等中心点处治疗 X 射线剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ), 依 GBZ/T 201.1 的 4.8.3, 屏蔽计算中可视为  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv/h}$ 。

对于二阶迷路 (本项目) 在公式 (11-10) 中, 以二阶迷路  $d_{2a}$  和  $d_{2b}$  之和代替  $d_2$ , 并且  $\dot{H}_\gamma$  为公式 (11-10) 的 1/3。

#### 4) 机房入口防护门屏蔽计算

入口门屏蔽设计时，通常使中子和中子俘获  $\gamma$  射线屏蔽后有相同的辐射剂量率，对于中子俘获  $\gamma$  射线，以铅屏蔽；对于中子，以含硼（5%）聚乙烯屏蔽，当给定防护门屏蔽厚度  $X_\gamma$  和  $X_n$  时，防护门外的辐射剂量率按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \cdot 10^{-\left(X_\gamma / TVL_\gamma\right)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-\left(X_n / TVL_n\right)} + \dot{H}_{OG} \cdot B_{OG} \quad \text{公式 11-11}$$

式中：

$X_\gamma$  和  $X_n$  分别为屏蔽上述两种辐射的不同屏蔽材料的厚度，cm；

$TVL_\gamma$  和  $TVL_n$  分别为中子俘获  $\gamma$  射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层，cm；

$\dot{H}_\gamma$  和  $\dot{H}_n$  分别为按公式（11-10）和公式（11-8）计算的入口处防护门内的辐射剂量率；

$\dot{H}_{OG}$ —  $O_2$  位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 G 处的剂量率。

$B_{OG}$ — 防护门对  $\dot{H}_{OG}$  的屏蔽透射因子，在  $\dot{H}_{OG}$  相对防护门入口处的总剂量率较小时，可以忽略  $\dot{H}_{OG} \cdot B_{OG}$  项；

机房入口门外 30cm 处无防护门时的泄漏射线剂量率计算结果见表 11-9；等中心处 1Gy 治疗照射时 M 处的总中子注量  $\phi_M$  计算结果见表 11-10；机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm（G 点）无防护门时的剂量率  $\dot{H}_n$  计算结果见表 11-11；机房入口门外 30cm（G 点）无防护门时的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率  $\dot{H}$ ，计算结果见表 11-12；防护门外的辐射剂量率计算结果见表 11-13。

**表 11-9 机房入口门外 30cm 处无防护门时的泄漏辐射剂量率计算**

参数	设计厚度 (cm)	等效厚度 (cm)	$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	R (m)	f	$\dot{H}_{OG}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
取值	150	173.2	$1.44 \times 10^9$	10.8	0.001	0.086

**表 11-10 等中心处 1Gy 治疗照射时 M 处的总中子注量  $\phi_M$  计算**

参数	$Q_n$ (中子数/Gy)	$d_1$ (m)	S ( $\text{m}^2$ )	$\phi_M$ ((中子数/ $\text{m}^2$ )/Gy)
取值	$0.92 \times 10^{12}$	7	230.32	$5.73 \times 10^9$

**表 11-11 中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm 处无防护门时的剂量率计算**

参数	$\phi_M$ ((中子数/ $\text{m}^2$ )/Gy)	$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$S_0$ ( $\text{m}^2$ )	$S_1$ ( $\text{m}^2$ )	$d_2$ (m)	$T_n$ (m)	$\dot{H}_n$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
取值	$5.73 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$	8.36	7.6	9.5	5.68	441.6

表 11-12 机房入口门外 30cm 处无防护门时的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率计算

参数	$\Phi_M$ (中子数/m <sup>2</sup> )/Gy)	$\dot{H}_0$ ( $\mu$ Sv/h)	$d_2$ (m)	TVD (m)	$\dot{H}_\gamma$ ( $\mu$ Sv/h)
取值	$5.73 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$	9.5	3.9	6.96

表 11-13 防护门外的总辐射剂量率计算

参数	$\dot{H}_r$ ( $\mu$ Sv/h)	$X_\gamma$ (cm)	TVL $_\gamma$ (cm)	$\dot{H}_n$ ( $\mu$ Sv/h)	$X_n$ (cm)	TVL $_n$ (cm)	$\dot{H}_{oG}$ ( $\mu$ Sv/h)	$B_{oF}$	$\dot{H}$ ( $\mu$ Sv/h)
取值	6.96	2	3.1	441.6	15	4.5	0.086	0.50	1.8

由表 11-13 可知，防护门外总剂量率为 1.8 $\mu$ Sv/h，小于推导出的剂量率参考控制水平 6.45 $\mu$ Sv/h。

同时，由表 11-5 和表 11-7 可知，本项目加速器机房顶部的辐射剂量率最大仅为 0.11 $\mu$ Sv/h，在地面关注点处形成的天空反散射剂量率更小，故穿过加速器机房顶的辐射与机房顶部上方空气作用产生的散射辐射对地面附近公众的照射和穿出机房顶的透射辐射在相应关注点的剂量率总和小于 2.5 $\mu$ Sv/h。

综上所述，本项目加速器机房周围各关注点的总剂量率均满足本项目所推导出的剂量率参考控制水平，满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)和《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2—2011)中的要求。

### 11.2.5 加速器机房电子线防护评价

本项目医用电子直线加速器最大能量为 15MV，电子线最大能量为 21MeV，电子在物质中的最大射程可以由下式估算（公式摘自《辐射防护技术与管理》，P123）。

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\max} \quad \text{公式 11-12}$$

式中：

$d$ ——最大射程，cm；

$\rho$ ——防护材料的密度，g/cm<sup>3</sup>；

$E_{\beta\max}$ ——电子最大能量，MeV。

电子束的最大能量为 21 MeV 时，在混凝土中（2.35 g/cm<sup>3</sup>）的最大射程约为 4.47cm。由于加速器机房混凝土厚度均在 100cm 以上，加速器电子线虽然能量相对于 X 射线较高，但其贯穿能量远弱于 X 射线。由此可见，项目加速器机房设计厚度和结构材质完全能满

足对电子线的屏蔽，可不再作特殊的防护要求。因此，本项目医用电子直线加速器运行期间产生的电子线对周围环境影响轻微。

### 11.2.5 有效剂量估算

#### (1) 计算公式

本项目加速器 X 射线外照射人均年有效剂量按下列公式计算：

$$H=D_t \times t \times T \times U \times 10^{-3} \quad \text{公式 11-13}$$

上式中：

H——X 射线外照射人均年有效剂量，mSv；

$D_t$ ——关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t——受照射时间，h；

T——人员在相应关注点驻留的居留因子；

U——使用因子。

#### (2) 居留因子

本项目的居留因子根据《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 选取，具体数值见表11-1。

#### (3) 工作负荷

根据医院提供的资料，加速器治疗工作量为 60 人/天，全年治疗约 15000 人次，其中常规治疗按 1/3、调强治疗人数按 2/3 计算。则常规治疗平均每位病人治疗时间约 1.5 分钟，每周工作 5 天，即周照射时间约为  $60 \times 1/3 \times 1.5 \times 5/60 = 2.5\text{h}$ ，一年按 50 周计算，则年治疗照射时间为 125h。调强放射治疗周出束时间为  $60 \times 2/3 \times 1.5 \times 5/60 = 5\text{h}$ ，年治疗出束时间为 250h。调强因子 N 取 5。则相应预测点的有用线束和有用线束散射辐射的年照射时间 t 取  $125 + 250 = 375\text{h}$ ，对于泄漏辐射，年照射时间 t 取  $125 + 250 \times 5 = 1375\text{h}$ 。

#### (4) 有效剂量估算

本项目加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总及其所致参考点人员的年有效剂量见表 11-14。

表 11-14 本项目加速器机房墙、顶、门外辐射影响理论估算结果汇总表

位置	东墙主屏蔽	东墙次屏蔽		迷道外墙		屋顶主屏蔽	屋顶次屏蔽		机房入口防护门	
	有用线束	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	泄漏辐射	有用线束	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	散射辐射
关注点	A	B		C	D	E	F		G	
对应场所名称	水冷机房	过道		控制室	辅助机房	一层绿化带	一层绿化带		准备室	
剂量率值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1.35	0.014	0.057	$3.4 \times 10^{-5}$	0.011	0.11	0.001	0.0035	0.043	1.757
T	1/16	1/5		1	1/16	1/20	1/20		1/8	
U	1/4	1		1	1	1/4	1		1	
t (h)	375	1375	375	1375	1375	375	1375	375	1375	375
年剂量估算值 ( $\text{mSv/a}$ )	$7.9 \times 10^{-3}$	$3.9 \times 10^{-3}$	$4.3 \times 10^{-3}$	$4.7 \times 10^{-5}$	$9.5 \times 10^{-4}$	$5.2 \times 10^{-4}$	$6.9 \times 10^{-5}$	$6.6 \times 10^{-5}$	$7.4 \times 10^{-3}$	0.08
叠加估算值 ( $\text{mSv/a}$ )	$7.9 \times 10^{-3}$	$8.2 \times 10^{-3}$		$4.7 \times 10^{-5}$	$9.5 \times 10^{-4}$	$5.2 \times 10^{-4}$	$1.35 \times 10^{-4}$		0.0874	
个人剂量控制限值 ( $\text{mSv/a}$ )	0.1	0.1		5	0.1	0.1	0.1		0.1	
结论	满足	满足		满足		满足	满足		满足	

由估算结果可见，本项目加速器所致辐射工作人员受照年有效剂量最大为  $4.7 \times 10^{-5} \text{mSv}$ ，满足本项目职业人员剂量约束值不超过  $5 \text{mSv/a}$  的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过  $20 \text{mSv/a}$  的剂量限值要求；

本项目加速器所致公众人员受照年有效剂量最大为  $0.0874 \text{mSv}$ ，满足本项目公众人员剂量约束值不超过  $0.1 \text{mSv/a}$  的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求的实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过  $1 \text{mSv/a}$  的剂量限值要求。由于剂量率根据距离增加而衰减，故可推测加速器机房周围  $50 \text{m}$  范围内辐射环境保护目标的其他公众人员年有效剂量能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）关于公众人员年有效剂量限值的要求。

### 11.2.6 通风管道、电缆穿墙管孔处的辐射影响分析

（1）本项目加速器机房电缆以地沟形式在地坪以下部位布设，并在非主射照射部位以“U”形从地坪下方穿越墙体，电缆沟的坑道两侧均用混凝土填充，穿墙管线入口和出口处均用硫酸钡封堵作为屏蔽补偿，保障不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。其他管线以  $45^\circ$  斜穿迷道外墙，穿墙管线入口和出口处均用硫酸钡封堵作为屏蔽补偿，保障不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。因此，电缆管线穿墙管孔出口处的剂量率不超上述分析的水冷机房和控制室的剂量率。

（2）送风管道和排风管道拟由加速器机房防护门上方采用斜“L”型设计穿过屏蔽墙体进入机房，且风管穿墙入口和出口处均用硫酸钡封堵作为屏蔽补偿，不破坏墙体的屏蔽。因此，通风管穿墙管孔出口处的剂量率不超上述分析的北墙室外的剂量率。

### 11.2.7 大气环境影响分析

本项目加速器机房新风量为  $1600 \text{m}^3/\text{h}$ ，采用独立的排风系统，送风量为  $2000 \text{m}^3/\text{h}$ ，加速器机房（含迷道）体积约为  $300 \text{m}^3$ ，设计通风换气次数为  $6.7$  次/小时，加速器机房进风口和排风口位置对角设置，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-202）中的相关规定。

本项目加速器运行时，X射线和空气发生作用会产生  $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_x$  等废气，由于X射线模式下产生的臭氧影响较小，故本项目仅估算在医用直线加速器在运行期间电子束模式情况下产生的臭氧浓度，本项目臭氧的产生浓度参照《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）附录 E 的计算公式进行估算。

$$C_{\text{O}_3} = 2.79 \times \frac{I_d}{V} \times (1 - e^{-\frac{v}{V}t}) \quad \text{公式 11-14}$$

式中：

$C_{O_3}$ ——机房中臭氧浓度， $mg/m^3$ ；

$I$ ——电子束流强度，mA；本项目为 0.1mA；

$d$ ——电子束在空气中的径迹长度，cm；本项目为 100cm；

$V$ ——靶室体积，立方米；加速器机房（含迷道）体积约为  $300 m^3$ ；

$v$ ——排气速率， $m^3/s$ ；本项目为  $0.42m^3/s$ ；

$t$ ——辐照时间，s；单次最长治疗时间取 180s。

由上式计算本项目直线加速器运行时臭氧的浓度见表 11-15。

表 11-15 加速器机房内臭氧浓度预测

机房名称	机房体积 $m^3$	电子束流强度 mA	电子束在空气中的 径迹长度 cm	排气速率 $m^3/s$	治疗结束后机房内的 臭氧浓度 $mg/m^3$
加速器机房	300	0.1	100	0.42	0.021

根据计算结果可知，本项目加速器机房运行中机房内最高饱和臭氧浓度为  $0.021mg/m^3$ ，机房内臭氧浓度可满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1）中“臭氧最高容许浓度  $0.3mg/m^3$ ”的要求。

加速器运行过程中会产生多种氮氧化物，其中以  $NO_2$  为主，其产额约为  $O_3$  的一半。因而机房内氮氧化物浓度可达到《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1）中“氮氧化物的时间加权平均容许浓度为  $5mg/m^3$ ”，满足标准要求。

### 11.2.8 废水和固废处理措施依托可行性分析

本项目直线加速器运行期间冷却水不具有放射性，每次维修时排放冷却水约 100L。事故或检修状况下加速器的活化冷却水应按照放射性废液管理要求妥善收集贮存，暂存衰变至低于豁免水平后可作为普通废液处理，并做好存档记录。本项目新增辐射工作人员，新增生活污水和生活垃圾，依托于医院的污水处理系统进行处置，对周围环境影响较小。加速器治疗过程中会产生少量普通医疗废物，少量医疗固废暂存于医疗废物暂存间，委托有资质单位定期进行无害化处置。如有废靶产生，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在加速器机房内，最终送交有资质的单位收贮。如有报废的离子交换树脂产生，先放进屏蔽容器，暂存在加速器机房内，经衰变后仍超出清洁解控水平的送交有资质的单位收贮。

### 11.3 事故影响分析

### **(1) 事故风险因素**

①加速器机房内有人未及时撤离，工作人员误操作加速器出束，发生超剂量照射；

②加速器机房由于安全联锁系统失效，加速器运行时无关人员误入机房，发生超剂量照射；

③维修时厂家维修人员和运行单位人员管理不当，加速器系统时发生异常出束，维修人员受到超剂量照射；

④加速器维修调试过程中，虽关闭了加速器高压，但未切断加速器电源，由于暗电流而造成的误照射。

### **(2) 辐射事故防范措施**

①工作人员进入加速器房进行摆位或其它照射前准备工作时，控制台前操作人员疏忽失职误将加速器开机出束，会发生工作人员误照射事件。工作人员发现加速器已经出束（照射红灯点亮），可就近按红色标志的急停开关，切断电源，迫使加速器关机停止出束；

②治疗病人陪伴者或其它人员误留机房内，在加速器开机出束后，操作人员从监控器内发现，可立即在控制台上按急停开关，切断加速器电源；

③加速器操作、安装调试和检修维护人员在工作过程中，应按要求配戴个人剂量计和按要求携带个人剂量报警仪。进行加速器设备的调试和维修期间，本项目辐射工作人员需将设备的控制权暂时移交给设备厂家工作人员，本项目辐射工作人员不参与设备的控制与维修，防止维修期间工作人员在加速器机房误照射。加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守，在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区。

④当发生上述加速器意外出束，人员受照事件后，应迅速将受照人员撤离现场，并估算人员受照剂量。如受照人员未携带个人剂量计，则可根据人员所在部位，加速器照射条件，初步估算人员受照剂量。根据初步剂量估算结果确定受照人员是否要进行医学观察及治疗。

⑤当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，并在规定时间内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

对于上述可能发生的各种事故，医院方面除在硬件上配齐、完善各种防范措施外，在软件设施上也注意了建设、补充和完善，使之在安全工作中发挥约束和规范作用，其主要

内容有：

①建立全院安全管理领导小组，组织管理医院的安全工作。

②建立岗位的安全操作规程和安全规章制度，注意检查考核，认真贯彻实施。

③制定全院重大事故处理预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

**表 12 辐射安全管理**

## **12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置**

### **12.1.1 机构设置**

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《关于做好2020年核技术利用辐射安全与防护培训考核工作有关事项的通知》等有关法律法规要求，使用II、III类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

建设单位已成立辐射工作管理领导小组，并明确了相关职责，小组成员大部分为本科以上学历，其人员设置满足辐射安全与环境保护管理工作要求。

辐射工作管理领导小组的主要职责：具体负责医院放射防护安全的日常管理，制定和实施放射防护管理制度，组织放射工作人员的放射防护法规和知识培训、职业健康检查和个人剂量监测，放射设备的使用登记和维护工作等，发生放射事件及时报告管理小组组长和副组长，并采取相应措施确保放射工作的安全。

本项目建成后，医院的科室、人员均会有一些调整，要求医院根据人事变动情况及时调整，明确人员职责，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并应以文件形式明确各成员管理职责。

### **12.1.2 辐射人员管理**

(1) 根据生态环境部《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(2019年，第57号)的相关要求，自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台 (<http://fushe.mee.gov.cn>) 报名并参加考核。2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

(2) 辐射工作人员应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量检测，并建立个人剂量档案；应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，在岗期间每一年或两年委托相关资质单位对辐射工作人员进行职业健康检查，建立完整的职业健康档案；

个人剂量档案和职业健康档案应终生保存。

(3) 辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一。

(4) 根据《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》(浙环函[2019]248号),各单位对辐射工作人员的辐射安全与防护培训或放射诊疗培训互相认可,无需重复培训。

医院现有约160名放射工作人员,按规定参加了辐射(放射)培训、个人剂量监测和职业健康体检工作,并按要求建立了培训档案、职业健康档案、个人剂量监测档案。本项目拟配备6名辐射工作人员,为医院新聘人员,医院应及时安排新增人员参加培训、岗前体检和个人剂量监测工作。

### **12.1.3年度评估报告**

建设单位应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求,每年对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估,并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度评估报告。

## **12.2辐射安全管理规章制度**

### **12.2.1原有辐射防护工作管理制度情况**

根据医院提供的资料显示,医院已建立了一系列辐射安全与防护管理制度,如《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等。

### **12.2.2本项目应补充的辐射防护工作管理制度**

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求,使用射线装置的单位,应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等,并有完善的辐射应急措施”。

医院本次项目为II类射线装置。医院应根据本项目新开展的直线加速器设备,结合辐射工作人员新增情况,尽快建立健全和落实相应的规章制度和操作规程,加强对辐射工作人员的安全防护培训和意识教育。

应完善和补充的制度主要内容如下:

(1) 操作规程:针对本项目新增的加速器制定相应的操作规程,明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及操作程序等,重点是工作时必须佩

戴个人剂量计和剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

(2) 岗位职责：明确本项目新增辐射管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

(3) 辐射防护和安全保卫制度：根据本项目新增的辐射工作和设备制定针对性的辐射防护和安全保卫制度，规定专人负责辐射防护与安全保卫工作，定期对辐射防护与安全保卫相关的用品、仪器进行检查。

(4) 辐射事故应急预案：根据本项目新增的加速器设备，在预案中完善应急机构的组成、职责分工、应急人员的培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。

(5) 人员培训计划：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。

(6) 设备维修制度：根据本项目新增的加速器更新医院设备维护保养制度，补充完善监测仪器维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保本项目新增设备的安全装置、安全联锁、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

(7) 根据本项目建设内容制定台帐管理制度，建立射线装置台账，记载射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。

(8) 辐射环境监测方案：应明确日常工作的监测因子、监测频次、更新监测依据等，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。医院每年对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，并于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交上一年度的评估报告。

## **12.3辐射监测**

### **12.3.1监测仪器和防护设备**

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，医院应为本项目配备1台辐射巡测仪、1台中子周围剂量当量仪、2台个人剂量报警仪、1台固定式辐射剂量监测仪（安装在迷路内墙），配置后将满足辐射监测仪器配置要求。本项目每名辐射工作人员应配置1枚个人剂量计，并建立个人剂量档案。

### 12.3.2日常监测计划

日常工作中，采用自购辐射巡测仪和中子周围剂量当量仪定期监测加速器机房，以确保屏蔽防护性能的良好。

### 12.3.3年度常规监测

医院应对本项目相关辐射工作场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；医院不具备自行监测能力的，可以委托第三方有资质的环境监测机构进行监测。

环评要求：医院应委托有资质的单位，定期（每年1次）对辐射工作场所周围环境进行辐射监测，监测数据每年年底须向当地环保局上报备案。

- (1) 监测频度：每年常规监测1次。
- (2) 监测范围：加速器机房屏蔽墙外，防护门，机房顶盖上方绿化带等。
- (3) 监测项目：X- $\gamma$  空气吸收剂量率、中子剂量率。
- (4) 监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

医院应将本项目辐射工作场所的监测结果写入医院《辐射安全和防护状况评估报告》中，并于每年1月31日前向辐射安全许可证发证机关提交上一年度的评估报告。

### 12.3.4个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为1次/季（每季度将个人剂量片送往有资质的检测机构进行检测）。

环评要求：

(1) 如果在单个季度出现个人剂量超过1.25mSv时需进行干预，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字。年剂量超过5mSv的管理限制时，暂停该辐射工作人员继续从事辐射工作，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字，并上报当地环境保护主管部门。单年剂量超过20mSv标准时，构成辐射事故，按事故应急预案处理，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并上报环保主管部门。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生主管部门报告。

(2) 个人剂量检测报告（连续四个季度）应当作为医院《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给辐射安全许可证发证机关。

(3) 辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应终身保存。

### 12.3.5监测计划建议

根据以上分析，本环评建议医院参考表12-1开展监测。

**表12-1 辐射工作场所监测计划建议**

场所名称	监测内容	监测范围	监测类别	监测依据	监测频度
直线加速器	X-γ空气吸收剂量率、中子剂量率	防护门、机房四侧墙体、机房顶盖上方绿化带和各电缆管道口等	年度监测	HJ1198-2021、GBZ121-2020	1次/年
			自主监测		1次/季
			验收监测		竣工验收
	个人剂量当量	所有辐射工作人员	个人剂量监测	GBZ128-2019	1次/季度

监测质量保证：

①制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与本单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

②采用的国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

③制定辐射环境监测管理制度和方案。此外，医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

## 12.4辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定，使用辐射装置单位应具备相应的条件，本项目从事辐射活动能力评价详见表12-2。

**表12-2 本项目从事辐射活动能力评价**

应具备条件	落实情况
（一）使用Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	建设单位已成立辐射工作管理领导小组，并明确了相关职责。
（二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	医院已组织现有辐射工作人员进行放射防护知识培训并考核合格。

(三) 射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射要求的安全措施。	本项目拟按设计要求建设加速器机房, 拟设有门机联锁、急停开关和对讲系统, 拟设有警示灯及电离辐射警告标志等辐射安全防护措施。
(四) 配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器, 包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器。	本项目加速器机房拟新配置1台辐射检测仪、1台中子周围剂量当量仪、2台个人剂量报警仪和6枚个人剂量计。
(五) 有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。	已制定或需新增完善。
(六) 有完善的辐射事故应急措施。	已制定、需完善。
(七) 产生放射性废气、废液、固体废物的, 还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目放射性三废处理方案详见表10。

综上所述, 医院在严格执行相关法律法规、标准规范等文件, 严格落实各项辐射管理制度、落实辐射管理措施或设施、完善辐射工作人员管理的前提下, 其从事辐射活动的技术能力基本符合相应法律法规的要求。

### 12.5 环保措施竣工验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况, 按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评[2017]4号)、《建设项目竣工环境保护验收技术指南污染影响类》(生态环境部公告2018年第9号)的相关要求, 对配套建设的环境保护设施进行验收, 自行或委托有能力的技术机构编制验收报告, 并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测(调查)报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组, 采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后, 其主体工程方可投入生产或者使用; 未经验收或者验收不合格的, 不得投入生产或者使用。

### 12.6 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第四十三条规定, 应急预案主要包括下列内容:

- (一) 应急机构和职责分工（具体人员和联系电话）；
- (二) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- (三) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (四) 辐射事故的调查、报告和处理程序；
- (五) 辐射事故信息公开、公众宣传方案。

医院应对现有辐射应急预案进行补充和完善，内容应包括：应急机构和职责分工、应急和救助装备、物资准备、辐射事故分级、辐射事故应急救援应遵循的原则、辐射事故应急措施和处理程序、辐射事故的调查和报告、人员培训和演习计划、应急联系电话和应急处理流程图等。

环评要求：

(1) 本项目实施前，把本项目加速器机房的相关内容加入辐射事故应急预案，报送生态环境主管部门重新备案。

(2) 在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

## 12.7 “三同时” 验收一览表

表12-3 “三同时” 验收一览表

项目	“三同时”措施	验收要求
辐射安全管理机构	医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员的管理职责。加速器机房投入使用后，将完善放射防护管理小组，并明确其职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构的管理或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作的要求。

	辐射安全和防护措施	<p><b>屏蔽措施:</b>加速器机房治疗室内部使用空间几何尺寸:长 7m,宽 8.2m,高(机房顶主屏蔽区内表面至地面的距离) 3.8m;东侧主屏蔽墙主屏蔽区厚为 3m(宽度 4.4m),次屏蔽区厚为 1.8m;西侧主屏蔽墙主屏蔽区厚为 3m(宽度 4.4m),次屏蔽区厚为 1.8m;屋顶主屏蔽墙厚为 3m(宽度 4.4m),次屏蔽墙体厚 1.7m,楼上还有 1.2m 的封闭空间;南侧屏蔽墙厚为 1.5m;加速器机房北侧设计有“L”型迷道入口,由迷道内墙和迷道外墙组成,迷道内墙厚度为 1.5m,迷道外墙为 1.4m;墙体均为整体浇灌混凝土(密度<math>\geq 2.35\text{t/m}^3</math>),拟安装含硼聚乙烯防护门(20mmPb+15cm 含硼 5%的聚乙烯)。具体见表 10-1。</p>	<p>满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)的要求(机房外的辐射剂量率满足本项目所推导出的剂量率参考控制水平)。本项目加速器辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv,公众年有效剂量不超过 0.1mSv。</p>
		<p>加速器机房由治疗室和迷道组成。本项目加速器机房与控制室分离,设有 L 型迷道,迷道口设有防护门。本项目加速器机房的主射方向为东、西、顶棚与地面方向,不朝向控制室。本项目加速器机房拟设置独立的多重连锁装置、警示装置、监控装置、急停按钮等多项安全防护措施,机房防护门出入口拟设置电离辐射警告标志。本项目加速器机房拟配备 1 台 X(<math>\gamma</math>)辐射监测仪、1 台中子周围剂量当量仪、2 台个人剂量报警仪、1 台固定式辐射剂量监测仪(安装于迷道内墙)。</p>	<p>满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)与《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)的要求。</p>
	人员配备	<p>本项目辐射工作人员拟参加辐射安全和防护专业知识的培训并在通过考核后上岗。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核的管理要求。</p>

		本项目辐射工作人员拟配备个人剂量计，每3个月定期送检，并建立辐射工作人员个人剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展个人剂量监测的管理要求。
		本项目辐射工作人员拟定期进行职业健康体检（不少于1次/2年），并建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展职业健康体检的管理要求。
	监测仪器和防护用品	拟配备1台X(γ)辐射监测仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射监测仪器和防护用品的配置要求。
		拟配备1台中子周围剂量当量仪。	
		拟配备2台个人剂量报警仪。	
		拟配备1台固定式辐射剂量监测仪。	
	辐射安全管理制度	制定《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》、《辐射事故应急预案》、《监测异常报告制度》等辐射安全管理制度，在之后的实际工作中对各项管理制度进行补充和完善。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位需具备有健全的辐射安全管理制度的管理要求。

## 12.8 环保投资估算一览表

本项目总投资8300万元，主要用于机房建设、设备采购等，其中环保投资约200万元，占项目总投资的2.4%。该项目具体环保投资估算详见表12-4。

表 12-4 环保投资估算一览表

项目		设施（措施）	金额（万元）
加速器 机房	辐射屏蔽措施	医用电子直线加速器屏蔽机房1间（含铅防护门）	150
	安全措施	门-机联锁1套、钥匙开关1套	1.0
		工作状态指示灯箱（门-灯联锁）1台	0.5

		紧急开关装置 1 套	0.5
		紧急止动开关 3 个	0.5
		灭火器材和火警报警装置	0.5
		机房内设紧急照明或独立通道照明系统	1.0
	废气处理设施	通排风系统（加速器机房分管，风机等设施）	15.0
	监测仪器及警示装置	辐射检测仪	5.0
		中子周围剂量当量仪	5.0
		固定式辐射剂量监测仪	6.0
		个人剂量报警仪	1.8
		个人剂量计	0.2
		电离辐射警告标志、监督区、控制区标识若干	1.0
		视频监控系统及对讲装置 1 套	2.0
环评与验收			10
合计			200

## 表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 辐射安全与防护分析结论

##### (1) 项目概况

医院在拟建的感染楼地下二层新建 1 间加速器机房及控制室等配套用房，拟新购 1 台直线加速器，X 射线能量最大为 15MV，属于 II 类射线装置。

##### (2) 项目位置

本项目加速器机房位于总院西北侧拟建感染楼的地下 2 层，其东侧隔 90m 为医院办公楼，南侧隔 10m 为已建的感染楼，西侧 30m 范围内为医院内部过道，之后是东谷路，距离居民区和商铺最近距离约 55m，北侧 35m 范围内为医院内部过道，之后是丹峰东路，距离居民区和商铺最近距离约 50m。本项目周边环境关系示意图详见附图 2。

##### (3) 项目所在地区环境质量现状结论

本项目辐射工作场所周围环境的辐射剂量率本底水平未见异常。

##### (4) 辐射安全防护措施结论

①本项目拟建的加速器机房的屏蔽防护设计方案能达到《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 与《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 等标准的要求。

②项目拟采取的污染防治措施详见本报告表第 10 章节。

##### (5) 辐射安全管理结论

①医院已成立辐射安全管理委员会，负责辐射安全与环境保护管理工作。医院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求。

②医院现有辐射工作人员均已进行放射防护知识培训。医院已对现有辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测，同时也应将本项目新增辐射工作人员纳入管理范围内。

象山县第一人民医院医疗健康集团在严格执行相关法律法规、标准规范等文件，严格落实各项辐射管理制度、落实辐射管理措施或设施、完善辐射工作人员管理的前提下，其从事辐射活动的技术能力基本符合相应法律法规的要求。

#### 13.1.2 环境影响分析结论

##### (1) 主要污染因子

本项目加速器产生的主要污染因子是 X 射线、中子和感生放射性等。

## (2) 辐射剂量率预测结论

本项目加速器机房周围各关注点的总剂量率均满足本项目所推导出的剂量率参考控制水平，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）等标准的要求。

## (3) 有效剂量预测结论

本项目加速器所致辐射工作人员受照年有效剂量最大为  $4.7 \times 10^{-5} \text{mSv}$ ，满足本项目职业人员剂量约束值不超过  $5 \text{mSv/a}$  的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过  $20 \text{mSv/a}$  的剂量限值要求；本项目加速器所致公众人员受照年有效剂量最大为  $0.0874 \text{mSv}$ ，满足本项目公众人员剂量约束值不超过  $0.1 \text{mSv/a}$  的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求的实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过  $1 \text{mSv/a}$  的剂量限值要求。由于剂量率根据距离增加而衰减，故可推测加速器机房周围  $50 \text{m}$  范围内辐射环境保护目标的其他公众人员年有效剂量能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）关于公众人员年有效剂量限值的要求。

## (4) “三废”影响分析

本项目加速器机房新风量为  $1600 \text{m}^3/\text{h}$ ，采用独立的排风系统，送风量为  $2000 \text{m}^3/\text{h}$ ，加速器机房（含迷道）体积约为  $300 \text{m}^3$ ，设计通风换气次数为  $6.7$  次/小时，加速器机房进风口和排风口位置对角设置，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-202）中的相关规定。

本项目加速器机房运行中机房内最高饱和臭氧浓度为  $0.021 \text{mg/m}^3$ ，机房内臭氧浓度可满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1）中“臭氧最高容许浓度  $0.3 \text{mg/m}^3$ ”的要求。加速器运行过程中会产生多种氮氧化物，其中以  $\text{NO}_2$  为主，其产额约为  $\text{O}_3$  的一半。因而机房内氮氧化物浓度可达到《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1）中“氮氧化物的时间加权平均容许浓度为  $5 \text{mg/m}^3$ ”，满足标准要求。

本项目加速器使用时能量超过  $10 \text{MeV}$  会产生感生放射性，感生放射性核素的活度和半衰期的范围都很宽，但大多数放射性核素的半衰期比较短，停机  $5 \sim 10$  分钟后就可以减弱到初始值的一半，因此，对感生放射性的有效防护措施之一就是等其自然衰变。

本项目直线加速器运行期间冷却水不具有放射性，每次维修时排放冷却水约  $100 \text{L}$ 。事故或检修状况下加速器的活化冷却水应按照放射性废液管理要求妥善收集贮存，暂存

衰变至低于豁免水平后可作为普通废液处理，并做好存档记录。本项目新增辐射工作人员，新增生活污水和生活垃圾，依托于医院的污水处理系统进行处置，对周围环境影响较小。加速器治疗过程中会产生少量普通医疗废物，少量医疗固废暂存于医疗废物暂存间，委托有资质单位定期进行无害化处置。如有废靶产生，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在加速器机房内，最终送交有资质的单位收贮。如有报废的离子交换树脂产生，先放进屏蔽容器，暂存在加速器机房内，经衰变后仍超出清洁解控水平的送交有资质的单位收贮。

### **13.1.3 可行性分析结论**

#### **(1) 产业政策符合性分析结论**

本项目属于核技术在医学领域内的运用。本项目直线加速器扩建项目符合《产业结构调整指导目录》（2019年本）第一类鼓励类第六项核能中第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

#### **(2) 实践正当性分析结论**

本项目的目的在于开展放射诊疗工作、治病救人，实践过程中采取了可能的辐射防护措施，在患者得到诊疗预期效果的同时，对周围环境、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

#### **(3) 选址合理性分析**

本项目加速器机房位于感染楼地下二层的西北侧，拟建加速器机房实体边界外50m范围内主要为医院内部建筑物和道路，本项目不在生态保护红线范围内，且项目选址周边均无自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、饮用水水源保护区以及基本农田保护区、基本草原、森林公园、地质公园、重要湿地等敏感点存在。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的防护治理措施后不会对周围环境与公众造成危害，故本项目的选址是合理的。

#### **(4) “三线一单”符合性分析**

根据《宁波市“三线一单”生态环境分区管控方案》，项目所在地位于宁波市象山县丹东街道生活重点管控单元（ZH33022520002），不在宁波市生态红线保护区内，不涉及生态保护红线符合环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单的要求，本项目的建设符合《宁波市“三线一单”生态环境分区管控方案》的要求。

### (5) 项目可行性

综上所述，象山县第一人民医院医疗健康集团在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，医院将具备相应从事的辐射活动的技术能力，本次评价包括的直线加速器建成投运后对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

### 13.2 建议和承诺

- 1、医院承诺将根据报告表和环保主管部门的要求落实相应的污染防治措施和管理要求，尤其是对病人及其家属的日常辐射安全管理要求。
- 2、环评报批后并建成，医院承诺及时向环境保护主管部门重新申领辐射安全许可证。
- 3、医院承诺按照相关法律法规要求严格履行环评制度、辐射安全许可制度，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）的要求自行验收，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见

经办人

公 章  
年 月 日

审批意见

经办人

公 章  
年 月 日